



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 35 714 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 B 17/00**  
G 01 B 17/06

②1 Aktenzeichen: 100 35 714.8  
②2 Anmeldetag: 21. 7. 2000  
④3 Offenlegungstag: 12. 7. 2001

DE 100 35 714 A 1

③0 Unionspriorität:  
11 209618 23. 07. 1999 JP

⑦1 Anmelder:  
Mitutoyo Corp., Tokio/Tokyo, JP

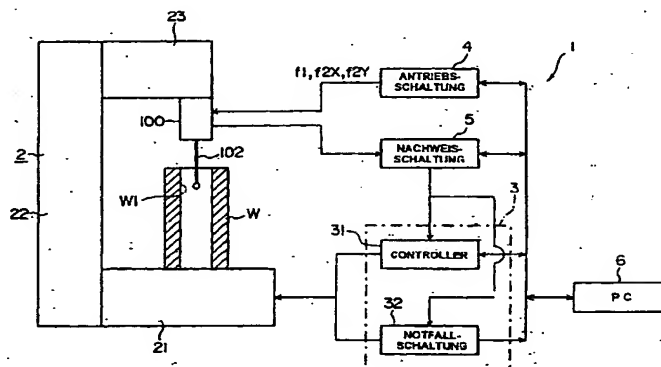
⑦4 Vertreter:  
Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,  
80538 München

⑦2 Erfinder:  
Hidaka, Kazuhiko, Tsukuba, Ibar., JP; Saito, Akinori,  
Tsukuba, Ibar., JP; Okamoto, Kiyokazu, Tsukuba,  
Ibar., JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Oberflächengestalt-Messverfahren

⑤7 Ein Oberflächengestalt-Messverfahren wird bereitgestellt, wobei das Oberflächengestalt-Messverfahren durch die Schritte gekennzeichnet ist: Bewegen einer Berührungssignalsonde (100) durch den Befehlsgeschwindigkeitsvektor, um die Oberfläche des zu messenden Werkstückes zu berühren; Abtasten der Oberfläche des zu messenden Werkstückes, wobei die Berührungssignalsonde (100) entlang der messenden Oberfläche bewegt wird, während ein Abstand relativ zu der zu messenden Oberfläche so gesteuert wird, dass der erfasste Amplitudenwert ( $A_n$ ) eines von der Nachweisschaltung ausgegebenen Detektionssignals einen vorbestimmten Referenzwert ( $A_s$ ) annimmt, wodurch der erfasste Amplitudenwert ( $A_n$ ) und eine entsprechende Messposition ( $r_n$ ) ausgegeben werden; und Berechnen einer abgeschätzten Oberflächenposition ( $R_n$ ) auf der Grundlage des erfassten Amplitudenwerts ( $A_n$ ) und der Messposition ( $r_n$ ), die abgeschätzt wird, um erhalten zu werden, wenn die Oberfläche so abgetastet wird, um den erfassten Amplitudenwert ( $A_n$ ) konstant zu halten.



DE 100 35 714 A 1

## 1. Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Oberflächengestalt-Messverfahren zum Messen einer Oberflächenbeschaffenheit eines Werkstückes durch eine Kontaktsonde, die an einer Koordinaten-Messvorrichtung und dergleichen angebracht ist. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung die Verbesserung in der Messeffizienz und Genauigkeit mit der Anwendung einer Kontaktdetektionssonde, die mit Ultraschallwellen in Schwingung versetzt ist.

## 2. Beschreibung des Standes der Technik

Eine Höhenmesseinrichtung (eindimensionale Messvorrichtung), eine Koordinatenmessvorrichtung und eine Profilmessvorrichtung sind als Messinstrumente zum Messen einer Beschaffenheit und/oder der Abmessung eines Werkstückes bekannt. Es werden diverse Sonden für die Messinstrumente verwendet, um die Lagebeziehung zwischen dem Messinstrument und dem Werkstück zu erfassen. Die Sonden werden in nichtkontaktartige Sonden und kontaktartige Sonden, und kontinuierlich messende Sonden und Kontaktdetektionssonden (Berührungstriggersonden) usw. eingestuft.

Eine durch Ultraschallwellen in Schwingung versetzte Berührungssignalsonde, die in der japanischen offengelegten Veröffentlichung Nr. Hei 6-221806 offenbart ist, ist als eine Kontaktdetektionssonde bekannt, die für Koordinatenmessinstrumente verwendet wird.

Die in der Publikation offenbarte kontaktartige Schwingungssonde besitzt einen Taststift mit einem Kontaktbereich, der an seiner Endspitze mit einem Werkstück in Berührung ist, einen Taststifthalter zum Halten des Taststiftes, einen Vibrator, um den Taststift in dessen axialer Richtung durch Anlegen von Ultraschallschwingungen in Schwingungen zu versetzen, und einen Detektor zum Erfassen einer Änderung der durch den Vibrator erzeugten Schwingung des Taststifts.

Gemäß der Berührungssignalsonde kann die Oberflächenposition des Werkstückes durch Erfassen der Änderung durch den Detektor nachgewiesen werden, da der Schwingungszustand des Taststifts sich ändert, wenn die Endspitze des Taststifts eine Oberfläche des Werkstückes berührt, während der Taststift durch den Vibrator in Schwingung versetzt ist.

Eine derartige durch Ultraschallwellen in Schwingung versetzte Berührungssignalsonde wird manchmal zum Messen des Durchmessers eines kleinen Loches, und dergleichen verwendet; und zum Messen derartiger kleiner Löcher wurde eine weitere Berührungssignalsonde, die in der US-Patentanmeldung Nr. 09/366,774 gezeigt ist, als eine Berührungssignalsonde mit geringer Größe vorgeschlagen, die mit Ultraschallwellen in Schwingung versetzt wird.

Wie in Fig. 12 gezeigt ist, besitzt die Berührungssignalsonde 100 einen Taststifthalter 101, einen Taststift 102, einen Vibrator 103A und einen Detektor 103B. Ein Kontaktbereich 102A, der mit dem Werkstück in Kontakt zu bringen ist, ist an einem Ende des Taststifts 102 vorgesehen und ein Gegengewicht 102B ist an einem Basisende des Taststifts 102 vorgesehen, wo die axial Mittellposition des Taststifts 102 die Schwerpunktslage ist. Wenn der Taststift 102 in seiner axialen Richtung schwingt, wird die Schwerpunktsposition ein Knotenpunkt der Schwingung.

In der Berührungssignalsonde 100 ist der Taststift 102 aus einem dünnen Stabelement zusammengesetzt und der Kontaktbereich 102A ist aus einer kleinen Kugel, die mit dem Taststift 102 fluchtet, zusammengesetzt, um eine Messung eines kleinen Loches zu ermöglichen. Da der dünne Taststift 102 nur schwer an einem Punkt gehalten werden kann, stützt ferner der Taststifthalter 101 den Taststift 102 an zwei Punkten, die die Schwerpunktsposition des Taststifts 102 einschließen.

Der Vibrator 103A und der Detektor 103B sind durch Aufteilen eines piezoelektrischen Elements 103, das sich über die beiden Haltebereiche des Taststifthalters 101 erstreckt, hergestellt. Wenn der Taststift 102 entlang der axialen Richtung mittels des Vibrators 103A schwingt, wird ein Schwingungsknoten der Schwingung an der Schwerpunktsposition des Taststifts 102 verursacht und die Haltebereiche des Taststifts 102 des Taststifthalters 101 umschließen den Schwingungsknoten.

Gemäß der Berührungssignalsonde 100 kann, da der Taststifthalter 101 den Taststift 102 an zwei den Schwingungsknotenpunkt einschließenden Bereichen hält, der Taststift 102 durch den Taststifthalter 101 selbst dann gehalten werden, wenn der Taststift 102 aus einem äußerst dünnen Stabelement hergestellt ist, wodurch eine Innenoberflächenmessung eines kleinen Loches, das ein großes Aspektverhältnis aufweist, ermöglicht wird.

Andererseits wurde ein weiteres Verfahren zum Berühren der Oberfläche des Werkstückes durch Schwingungsbewegung ("Klopfverfahren") vorgeschlagen (beispielsweise US-Patentanmeldung Nr. 09/540,051).

Gemäß dem obigen Verfahren ist beispielsweise an dem oben beschriebenen Taststifthalter 101 ein zweiter Vibrator vorgesehen und der Taststift 102 wird durch den zweiten Vibrator in Schwingung versetzt, so dass der Kontaktbereich 102A an der Endspitze zu und von dem Werkstück wegschwingt.

Gemäß dem Klopfverfahren kann eine Anziehung (Adhäsionseffekt) vermieden werden, selbst wenn der Taststift 102 eine geringe Steifigkeit aufweist, sogar, wenn sich der Taststift 102 entlang der Oberfläche des Werkstückes bewegt, um die Oberflächenbeschaffenheit kontinuierlich zu messen, da der Kontaktbereich 102A sich zu und von dem Werkstück weg bewegt. Das Verfahren ist daher vorteilhaft, da die Ausführungseffizienz durch kontinuierliches Messen unter Beibehaltung einer hohen Genauigkeit verbessert werden kann.

In der oben beschriebenen Berührungssignalsonde, die durch Ultraschallwellen in Schwingung versetzt ist, ist jedoch die Messgenauigkeit stark von einem Zeitverhalten zum Ausgeben eines Triggersignals des Kontaktnachweises beeinflusst.

Insbesondere wenn der durch den Vibrator in Schwingung versetzte Taststift sich in Richtung zum Werkstück bewegt und der Kontaktbereich die Oberfläche des Werkstückes berührt, wird bei Einsetzen der Berührung damit begonnen, die Schwingung zu dämpfen. Und wenn sich der Kontaktbereich weiter in Richtung des Werkstückes bewegt und der Kontaktbereich die Oberfläche des Werkstückes mit einer gewissen Anpresskraft berührt, wird die Schwingung des Taststifts

weiter gedämpft. Da das Anpressen in Richtung der Werkstücksoberfläche und das Dämpfen der Schwingung voneinander abhängen, kann zu diesem Zeitpunkt der Betrag des Andrückens des Taststifts in Richtung des Werkstückes konstant gemacht werden, indem beurteilt wird, dass das Dämpfen der Schwingung einen vorbestimmten Pegel erreicht, indem ein Ausgangssignal des Detektors überwacht wird, so dass eine genaue Positionserfassung möglich ist.

Zum Messen einer Position eines Punktes an der Oberfläche des Werkstückes ist jedoch ein wiederholtes Ausführen des Bewe-gens des Taststiftes zu und von dem Werkstück weg und ein Detektieren an der Position bis die Schwingung des Taststifts sich beruhigt hat notwendig. Insbesondere kann eine enorme Gesamtarbeitszeit zum Überprüfen zahlreicher Punkte beispielsweise beim kontinuierlichen Messen der Oberfläche des Werkstückes erforderlich sein.

Andererseits kann die Arbeitszeit zum Messen entsprechender Positionen des Werkstückes verkürzt werden, wenn die Schwingung des Taststiftes an der Position sich nicht streng genommen beruhigt hat, sondern lediglich bis zu einem vorbestimmten Pegel beruhigt hat. In diesem Falle verschlechtert sich natürlich die Messgenauigkeit.

### Überblick über die Erfindung

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Oberflächengestalt-Messverfahren zum Vermeiden des Einflusses einer Konvergenzzeit an jedem Kontaktpunkt auf dem Werkstück bereitzustellen, während die Berührung durch Schwin-gung nachgewiesen wird, wodurch die Arbeitseffizienz verbessert wird, während eine hohe Messgenauigkeit beibehalten wird.

Die vorliegende Erfindung konzentriert sich auf die Tatsache, dass beim herkömmlichen Kontaktnachweis mittels Schwingung der Taststift an eine Position bewegt wird, wo die Schwingung des Taststifts einen vorbestimmten Pegel erreicht, und eine Positionsinformation des Taststifts an der Position wird ausgelesen, um die Kontaktposition zu erhalten, so dass mühsame Schritte für feinfühliges Bewegen des Taststifts in Richtung zum und vom Werkstück weg als die Kon-vergenzzeit dargestellt sind. In der vorliegenden Erfindung wird der Taststift nicht an einer vorbestimmten Position zur Ruhe gebracht, sondern die Koordinate der vorbestimmten Position, an der konventioneller Weise die Schwingung beru-higt wird, wird durch einen erfassten Wert des Detektors berechnet, der benachbart zu der vorbestimmten Position und der erfassten Position des Taststifts erhalten wird, wodurch die Position der Oberfläche des Werkstückes mit hoher Ge-nauigkeit und Effizienz gemessen wird.

Genauer gesagt, die vorliegende Erfindung ist ein Oberflächengestalt-Messverfahren zum Messen einer Oberflächen-beschaffenheit eines Werkstückes unter Verwendung einer Kontaktdetektionssonde mit: einem Haltekörper zum Bewe-gen in einem dreidimensionalen Raum mittels eines vorbestimmten Befehlsgeschwindigkeitsvektor basierend auf einem Befehl von außen; einem von dem Haltekörper gehaltenen Taststift mit einem Kontaktbereich, der mit dem Werkstück in Berührung ist; einem Vibrator, um den Taststift mit einer ersten Frequenz  $f_1$  in einer axialen Richtung in Schwingung zu versetzen; und einer Nachweisschaltung zum Nachweisen einer Änderung in der Schwingung des Taststifts durch den Vibrator, wobei die Oberflächenbeschaffenheit des Werkstückes durch eine Position des Haltekörpers gemessen wird, wenn der Kontaktbereich die Oberfläche des Werkstückes berührt, wobei das Oberflächengestalt-Messverfahren dadurch gekennzeichnet ist, dass es die Schritte aufweist:

Bewegen der Kontaktdetektionssonde durch den Befehlsgeschwindigkeitsvektor, um die zu messende Oberfläche des Werkstückes zu berühren; und  
Abtasten der Oberfläche des zu messenden Werkstückes, wobei die Kontaktdetektionssonde entlang der zu messenden Oberfläche bewegt wird, während der Abstand relativ zu der messenden Oberfläche so gesteuert wird, dass ein erfasster Amplitudenwert  $A_n$  eines von der Nachweisschaltung ausgegebenen Detektionssignals zu einem vorbestimmten Referenzwert  $A_s$  wird, um somit den erfassten Amplitudenwert  $A_n$  und eine entsprechende Messposition  $r_n$  auszugeben; und Berechnen einer abgeschätzten Oberflächenposition  $R_n$  aus einem Satz des erfassten Amplitudenwerts  $A_0 \sim A_m$  und einem Satz der Messposition  $r_0 \sim r_m$ .

Als die Kontaktdetektionssonde kann die oben beschriebene Berührungssignalsonde, die durch Ultraschallwellen in Schwingung versetzt wird, und dergleichen verwendet werden. Der Taststift kann vorzugsweise durch einen mit dem Haltekörper verbundenen Taststifthalter gehalten werden. Ein existierendes Antriebselement wie etwa ein piezoelektrisches Element kann als der Vibrator verwendet werden. Eine Versorgungsquelle oder eine Treiberschaltung kann nach außen hin zum Betätigen des Vibrators angeschlossen sein. Der Detektor kann aus einem piezoelektrischen Element zusammen-gesetzt sein, und ein in dem Vibrator integrierter, bekannter Aufbau und dergleichen kann bei Bedarf verwendet werden.

Der Haltekörper kann in Abhängigkeit eines beliebigen bestehenden Koordinaten-Messinstruments angetrieben wer-den, und der Haltekörper kann auf der Grundlage eines Befehlprogramms, das von einem externen Controller oder Com-putersystem ausgeführt wird, betrieben werden. Der externe Controller oder das Computersystem können den erfassten Amplitudenwert  $A_n$  von dem Detektor erfassen, gemäß dem Referenzwert  $A_s$  steuern und die abgeschätzte Oberflächen-position  $R_n$  berechnen. Das Aufnehmen des erfassten Amplitudenwerts  $A_n$  und der Messposition  $r_n$  und das Berechnen der abgeschätzten Oberflächenposition  $R_n$  können parallel oder alternativ sequentiell ausgeführt werden.

Paralleles Ausführen der Schritte bedeutet, dass während die Position  $r_n$  erfasst wird, eine abgeschätzte Oberflächen-position vor mehreren Schritten auf der Grundlage des erfassten Amplitudenwerts und der Messposition berechnet wird. Nachdem der Taststift die Oberfläche des Werkstückes berührt, werden gemäß der obigen Anordnung der erfasste Am-plitudenwert  $A_n$  und die Messposition  $r_n$  jeweiliger Punkte durch Abtasten der Oberfläche angesammelt, und auf deren Grundlage wird die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  berechnet.

Obwohl der Taststift so gesteuert wird, um den erfassten Amplitudenwert  $A_n$  bei einem Pegel des Referenzwerts  $A_s$  für entsprechende Punkte zu halten, bleibt zu diesem Zeitpunkt der Taststift nicht an den entsprechenden Punkten bis der er-fasste Amplitudenwert  $A_n$  sich auf den Referenzwert  $A_s$  eingestellt hat, so dass die konventionelle Konvergenzzeit nicht notwendig ist.

Da die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  durch Korrektur der Messposition  $r_n$  mit dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$  erhalten werden kann, kann andererseits ein genauer Wert erhalten werden, selbst wenn der Taststift nicht die Position

erreicht, an der der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  gleich dem Referenzwert  $A_s$  ist.

In der vorliegenden Erfindung kann der Befehlsgeschwindigkeitsvektor  $V_{n+1}$  während des Abtastschrittes vorzugsweise bestimmt werden, indem ein Skalar aus einem Vektorprodukt eines vorhergehenden Wertes des Befehlsgeschwindigkeitsvektors  $V_n$  und eines aktuellen Geschwindigkeitsvektors  $V_{n+1}$  mit einer Differenz zwischen dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$  und dem Referenzwert  $A_s$  multipliziert mit einem vorbestimmten Proportionalitätsfaktor  $k$  gleichgesetzt wird.

Folglich kann der Taststift in einfacher Weise und geeignet so gesteuert werden, um sich so zu bewegen, dass der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  sich dem Referenzwert  $A_s$  annähert.

In der vorliegenden Erfindung ist die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$ , die während des Berechnungsschrittes berechnet wird, vorzugsweise eine Position, die, nach Bestimmung aufeinanderfolgender Messpositionen  $r_{n+1}$  relativ zur Messposition  $r_n$ , bestimmt ist durch Festlegen einer Position beginnend von der Messposition  $r_n$  mit einer Größe entsprechend dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$  und durch orthogonales Korrigieren mit einer geraden Linie, die die nachfolgende Messposition  $r_{n+1}$ , und die vorhergehende Messposition  $r_{n-1}$  verbindet.

Folglich kann die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  durch eine einfache Rechnung und mit hoher Genauigkeit erhalten werden.

Ferner kann die während des Berechnungsschritts berechnete abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  definiert werden als eine Position beginnend an der Messposition  $r_n$  mit einer Größe entsprechend dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$  und orthogonal korrigiert mit einer geraden Linie, die die Messposition  $r_n$  und die vorhergehende Messposition  $r_{n-1}$  verbindet.

Da die nachfolgende Messposition  $r_{n+1}$  nicht benötigt wird, können folglich die Nachweisdaten sofort arithmetisch verarbeitet werden.

Ferner kann die während des Berechnungsschritts berechnete abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  definiert werden als eine Position beginnend von der Messposition  $r_n$  mit einer Größe entsprechend dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$  und korrigiert in einer Richtung einer Senkrechten, die an eine Kurve gezeichnet ist, die zumindest durch drei Punkte, der Messposition  $r_n$ , und der vorhergehenden und nachfolgenden Messpositionen  $r_{n+1}$ ,  $r_{n-1}$  definiert ist.

Gemäß der obigen Anordnung kann die Genauigkeit der abgeschätzten Oberflächenposition  $R_n$  weiter verbessert werden.

In der vorliegenden Erfindung kann die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  vorzugsweise bestimmt werden, indem der Verschiebungsbetrag  $D$  des Kontaktbereichs des Taststifts relativ zur Taststiftachse mit einer dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$  entsprechenden Position addiert wird.

Der Verschiebungsbetrag  $D$  ist, wenn der Kontaktbereich des Taststifts beispielsweise eine Kugel ist, als der Radius des Kontaktbereiches und dergleichen gegeben, was bedeutet, dass der Abstand der eigentlichen Kontaktposition zu der Position der Taststiftachse addiert wird.

In der vorliegenden Erfindung kann das Abtasten der zu messenden Oberfläche vorzugsweise zu Beginn abgeschlossen sein und alle notwendigen erfassten Amplitudenwerte  $A_n$  und entsprechende Messpositionen  $r_n$  können nacheinander während des Abtastens gespeichert werden, und ein Satz abgeschätzter Oberflächenpositionen  $R_0 \sim R_m$  und des Satzes entsprechender Messwerte  $r_0 \sim r_m$  können während des obigen Berechnungsschritts erhalten werden. Nach Bedarf kann zum sequentiellen Speichern des erfassten Amplitudenwerts  $A_n$  und der entsprechenden Messposition  $r_n$  das oben beschriebene externe Computersystem und dergleichen verwendet werden.

Da das Abtasten zum Erfassen der Nachweiswerte  $A_0 \sim A_m$  und der Messpositionen  $r_0 \sim r_m$  unabhängig voneinander und sequentiell ausgeführt werden kann, kann gemäß der obigen Anordnung die Steuerung im Vergleich zum parallelen Ausführen beider Schritte vereinfacht werden. Da es nicht notwendig ist, den zeitlichen Betriebsablauf beider Schritte zu berücksichtigen, kann ferner das Durchführen entsprechender Schritte auf die schnellstmögliche Weise eingestellt werden.

In der vorliegenden Erfindung kann die Kontaktdetektionssonde ferner einen zweiten Vibrator aufweisen, um den Taststift kreuzweise relativ zu einer Achse desselben mit einer zweiten Frequenz  $f_2$  in Schwingung zu versetzen, und der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  des Nachweissignals, das von der Nachweisschaltung ausgegeben wird, kann zwischengespeichert werden, wenn die Schwingung des zweiten Vibrators sich in einer vorbestimmten Phase befindet und der zwischengespeicherte erfasste Amplitudenwert  $A_n$  kann mit Bezug zu dem zu steuernden Wert  $A_s$  verglichen werden.

Folglich kann die vorliegende Erfindung auf das oben beschriebene Klopfverfahren angewendet werden.

Dabei kann der Taststift vorzugsweise mittels des zweiten Vibrators in einer Richtung näherungsweise orthogonal zur Achse des Taststiftes und näherungsweise orthogonal zur Bewegungsrichtung des Haltekörpers während des Abtastens in Schwingung versetzt werden.

Wenn der Taststift parallel zu einer Wandoberfläche ist, kann daher der Taststift in näherungsweise senkrechter Richtung relativ zur Messoberfläche des Werkstückes klopfen.

In der vorliegenden Erfindung kann der Haltekörper einen Neigungsantrieb zum Drehen und Neigen der Kontaktdetektionssonde in eine gewünschte Stellung aufweisen, und die Stellung der Kontaktdetektionssonde kann in Übereinstimmung mit der Beschaffenheit des Werkstückes mittels eines Neigungscontrollers gesteuert werden.

Folglich können die Messoberfläche des Werkstückes und die Achse der Kontaktdetektionssonde parallel gemacht werden, so dass die Messung erfindungsgemäß einfach durchgeführt werden kann, selbst wenn die Messoberfläche des Werkstückes schräg ist.

In der obigen Ausführung kann der Neigungsantrieb vorzugsweise durch den Neigungscontroller so gesteuert werden, dass der Taststift mittels des zweiten Vibrators in einer normalen Richtung der Oberfläche des Werkstückes, das mit dem Kontaktbereich in Berührung ist, in Schwingung versetzt wird.

Selbst wenn die Messoberfläche des Werkstückes schräg ist, ist folglich eine genaue Messung durch Klopfen in der normalen Richtung möglich.

Zum Justieren der Stellung der Kontaktdetektionssonde ist ferner Information über die Messoberfläche des Werkstückes notwendig. Eine derartige Information kann durch vorheriges Messen der Position mehrerer Punkte an der Messoberfläche des Werkstückes erhalten werden, oder durch Verwendung von Gestaltungsdaten, beispielsweise CAD-Daten

des Werkstückes.

In der vorliegenden Erfindung wird der Taststift vorzugsweise durch den zweiten Vibrator in lineare Schwingungen versetzt.

Folglich kann ein geeignetes Klopfen mittels der vorliegenden Erfindung ausgeführt werden.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist ein schematisches Blockdiagramm, das einen Gesamtaufbau gemäß der 5 ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt;

Fig. 2 ist ein Blockdiagramm, das einen wesentlichen Teil der Ausführungsform zeigt;

Fig. 3 ist eine schematische Draufsicht, die einen Umriss einer Messung der ersten Ausführungsform zeigt;

Fig. 4 ist eine schematische Draufsicht, die einen Abtastvorgang gemäß der ersten Ausführungsform zeigt;

Fig. 5 ist ein Graph, der eine Änderung im Detektionssignal während des Abtastvorgangs gemäß der ersten Ausführungsform zeigt;

Fig. 6(A) bis (C) sind schematische Darstellungen, die den Berührzustand der Endspitze des Taststiftes gemäß der ersten Ausführungsform darstellen;

Fig. 7 ist eine schematische Ansicht, die eine Änderung im Detektionssignal in Übereinstimmung mit dem Berührzustand der Endspitze des Taststiftes der ersten Ausführungsform zeigt;

Fig. 8 ist eine schematische Draufsicht, die den Berechnungsvorgang der ersten Ausführungsform darstellt;

Fig. 9 ist eine schematische Draufsicht, die einen Berechnungsschritt einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 10 ist eine schematische Draufsicht, die den Berechnungsvorgang einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 11 ist ein Blockdiagramm, das einen Hauptteil einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt; und

Fig. 12 ist eine perspektivische Ansicht, die den Taststiftbereich einer herkömmlichen Berührungssignalsonde zeigt.

#### Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Bezug zu den beiliegenden Zeichnungen beschrieben. Bereiche oder Elemente, die identisch oder ähnlich zu den oben beschriebenen Komponenten sind, werden mit den gleichen Bezugszeichen bedacht, so dass die Beschreibung dafür weggelassen oder vereinfacht wird.

Fig. 1 und 2 zeigt ein Innen-Außen-Messinstrument, in der ein Oberflächenbeschaffenheitsmessverfahren gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung installiert ist.

Das Innen-Außen-Messinstrument 1 besitzt einen Messinstrumentenkörper 2, eine Kontrollschaltung 3, eine Antriebsschaltung 4, eine Nachweisschaltung 5 und einen Personal Computer 6. Die Antriebsschaltung 4 versetzt die Berührungssignalsonde 100 in der axialen Richtung des Taststiftes und in eine Richtung senkrecht zu der Achse in Schwingung. Die Nachweisschaltung 5 verarbeitet arithmetisch ein elektrisches Signal aus dem Detektor, der an dem Taststift vorgesehen ist, und liefert ein Ausgangssignal zur Kontrollschaltung 3. Der Personal Computer 6 gibt ein Kontrollsignal zur Kontrollschaltung 3 aus, um die Bewegung des Messinstrumentenkörpers 2 zu steuern, und verarbeitet arithmetisch einen erfassten Wert der Nachweisschaltung 5 und eines Controllers 31 der Kontrollschaltung 3, um die Rundung und dergleichen eines Werkstückes W zu ermitteln.

Das Werkstück W ist an dem Messinstrumentenkörper 2 eingespannt, um dessen Oberflächenbeschaffenheit zu messen. Der Messinstrumentenkörper 2 besitzt einen XYZ-Tisch 21, an dem das Werkstück eingespannt wird, eine an einem Endbereich des XYZ-Tisches 21 angeordnete Säule 22, einen Haltekörper 23, der in einer sich von der Säule 22 erstreckenden Richtung gleiten kann, und die von dem Haltekörper 23 behaltene Berührungssignalsonde 100.

Obwohl dies in Fig. 1 nicht gezeigt ist, besitzt der XYZ-Tisch 21 einen X-Achsen-einstellmechanismus und einen Y-Achsen-einstellmechanismus zum Bewegen des Werkstückes W entlang der Oberfläche des XYZ-Tisches 21, und einen Z-Achsen-einstellmechanismus zum Bewegen des Werkstückes W in einer normalen Richtung der Oberfläche des XYZ-Tisches 21, um das Werkstück W an einer vorbestimmten Position anzuordnen. Nachdem das Werkstück W auf dem XYZ-Tisch 21 eingespannt ist, werden die Achsen-einstellmechanismen so betrieben, um in genauer Weise die Position des Werkstückes einzustellen.

Obwohl dies in Fig. 1 nicht gezeigt ist, besitzt der Haltekörper 23 ferner einen X-Achsenantriebsmechanismus und einen Y-Achsenantriebsmechanismus zum Bewegen der Berührungssignalsonde 100 entlang der Oberfläche des XYZ-Tisches 21, und einen Z-Achsenantriebsmechanismus zum Anheben des Haltekörpers 23 entlang der Säule 22, wobei die Bewegung der Achsenantriebsmechanismen durch die im Folgenden beschriebene Kontrollschaltung 3 gesteuert wird.

Die Kontrollschaltung 3 steuert die Bewegung des Haltekörpers 23, die einen Controller 31 und eine Notfallschaltung 32 umfasst.

Der Controller 31 steuert die Bewegung des Haltekörpers 23 des Messinstrumentenkörpers 2 auf der Grundlage des Befehls aus dem Personal Computer 6. Der Controller 31 sendet den Befehlsgeschwindigkeitsvektor  $V_n$  zu dem Antriebsmechanismus des Haltekörpers 23, um eine Bewegung anzuweisen, und der Achsenantriebsmechanismus des Haltekörpers 23 führt die Bewegung auf der Grundlage des Befehlsgeschwindigkeitsvektors  $V_n$  aus. Personal Computer 6 sendet dem Controller 31 bei Beginn des Betriebs usw. einen Referenzwert  $A_s$ . Der Controller 31 überwacht den erfassten Amplitudenwert  $A_n$  aus der Nachweisschaltung 5 während der Bewegung des Haltekörpers 23 und legt den Befehlsgeschwindigkeitsvektor  $V_n$  so fest, um den erfassten Amplitudenwert  $A_n$  dem Referenzwert  $A_s$  anzunähern, um die Bewegung des Haltekörpers 23 zu steuern.

Wenn das Detektionssignal aus der Nachweisschaltung 5 nicht einen vorbestimmten Wert beibehalten kann, beendet

die Notfallschaltung 32 den Steuervorgang durch den Controller 31 und gibt ein Kontrollsignal aus, um den Haltekörper 23 in eine Richtung entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung der Berührungssignalsonde 100 durch den Controller 31 zu bewegen. Die Notfallschaltung 32 führt dazu, dass die Berührungssignalsonde 100 nicht mit dem Werkstück W in Berührung ist, so dass ein durch eine übermäßige Kontaktkraft bewirkter Schaden verhindert wird.

Wie in Fig. 2 gezeigt ist, besitzt die Berührungssignalsonde 100 den Taststifthalter 101, den Taststift 102, den Kontaktbereich 102A, das Gegengewicht 1028, den Vibrator 103A und den Detektor 1038. Der zweite Vibrator 110 zum In-schwingungversetzen des Taststifts 102 in eine Richtung senkrecht zur Achse des Taststifts 102 ist zwischen dem Haltekörper 23 und dem Taststifthalter 101, der von dem Haltekörper 23 gestützt wird, vorgesehen. Ferner besitzt der zweite Vibrator 110 ein X-Achsen-schwingungselement 110X und ein Y-Achsen-schwingungselement 110Y, die in zueinander senkrechten Richtungen schwingen, um den Taststift 102 in einer Ebene senkrecht zur Achse des Taststifts 102 in einer gewünschten Richtung in Schwingung zu versetzen. Das X-Achsen-schwingungselement 110X und das Y-Achsen-schwingungselement 110Y sind der Reihe nach zwischen dem Taststifthalter 101 und dem Haltekörper 23 angeordnet.

Die Treiberschaltung 4 führt dem Vibrator 103A und dem zweiten Vibrator 110, der aus einer Schwingungsschaltung 41 und einer zweiten Schwingungsschaltung 42 zusammengesetzt ist, ein elektrisches Signal mit einer vorbestimmten Frequenz zu.

Die Schwingungsschaltung 41 weist einen Oszillator zum Erzeugen eines elektrischen Signals auf, um den Vibrator 103A mit einer vorbestimmten Amplitude und Frequenz zu betreiben, um somit den Taststift 102 in der axialen Richtung mit einer Frequenz  $f_1$  in Schwingung zu versetzen.

Die zweite Schwingungsschaltung 42 weist einen Oszillator zum Erzeugen eines elektrischen Signals auf, um das oben beschriebene X-Achsen-schwingungselement 110X und das Y-Achsen-schwingungselement 110Y mit einer vorbestimmten Amplitude und Frequenz zu betreiben. Obwohl ferner der Oszillator das X-Achsen-schwingungselement 110X und das Y-Achsen-schwingungselement 110Y gleichzeitig betätigt, können die Amplitude des elektrischen Signals der jeweiligen Schwingungselemente 110X und 110Y unabhängig voneinander eingestellt werden. Durch Anlegen elektrischer Signale mit unterschiedlicher Amplitude an die jeweiligen Schwingungselemente 110X und 110Y schwingt der Taststift 102 in eine beliebige gewünschte Richtung. Folglich ist die Schwingung des Schwingungselements 110X und 110Y synchron, so dass der Taststift 102 in beliebigen Richtungen in einer Ebene senkrecht zur Achse des Taststifts 102 mit einer Frequenz  $f_2$  schwingt.

Ein Detektionssignal (erfasster Amplitudenwert  $A_n$ ) aus der Nachweisschaltung 5 wird in den Personal Computer 6 eingespeist. Ein vorbestimmter Zyklus eines Abtastsignals wird von dem Personal Computer 6 an die Nachweisschaltung 5 ausgegeben und die Nachweisschaltung 5 gibt den erfassten Amplitudenwert  $A_n$  zu dem Zeitpunkt aus, wenn das Abtastsignal gesendet wird.

Eine augenblickliche Position (Messposition  $r_n$ ) wird dem Personal Computer 6 von dem Controller 31 eingespeist. Das gleiche Abtastsignal, das zur Nachweisschaltung 5 gesendet wird, wird zum Controller 31 gesendet, und der Controller 31 gibt die, dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$ , der von der oben beschriebenen Nachweisschaltung 5 ausgegeben wird, entsprechende Messposition  $r_n$  an den Personal Computer 6 aus.

Ferner ist in dem Personal Computer mittels Software eine Berechnungsfunktion festgelegt, wobei mehrere Datensätze des erfassten Amplitudenwerts  $A_n$  und der Messposition  $r_n$  gespeichert werden und der Datensatz arithmetisch verarbeitet wird, um eine abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  zu erhalten.

Als nächstes wird der Betrieb der Innen-Außen-Messvorrichtung 1 der oben beschriebenen ersten Ausführungsform mit Bezug zu der Messanordnung des inneren Umfangs W1, wie in Fig. 3 gezeigt, beschrieben.

(1) Wie in Fig. 3 gezeigt ist, eine Positionskoordinate des inneren Durchmessermittelpunkts  $O_W$  und der ungefähre Radius  $R_W$  werden zuvor durch eine Dreipunktmessung oder Verwendung von CAD-Daten etc. gemessen.

(2) Unter Betrachtung der Amplitude des Taststifts 102 mittels des zweiten Vibrators 110 wird der Kreis S1, der um  $\Delta r$  kleiner als der Radius  $R_W$  ist, in der Kontrollschaltung 31 als ein grundlegender Bewegungspunkt des Kontaktbereichs 102A festgelegt. Genauer gesagt, die Bewegung des Kontaktbereichs 102A wird auf der Grundlage eines Winkels  $\theta$  von einem Messanfangspunkt P0 in Fig. 3 und dem Radius  $R_W - \Delta r$  gesteuert. Da die Amplitude der durch den zweiten Vibrator 110 hervorgerufenen, zur Achse des Taststifts 102 senkrechten Schwingung extrem klein ist, kann  $\Delta r$  praktisch als ein Wert betrachtet werden, der näherungsweise gleich dem Radius des Kontaktbereichs 102A ist.

(3) Das elektrische Signal der zweiten Schwingungsschaltung 42 wird als eine Funktion des Winkels  $\theta$  festgelegt, so dass der Taststift 102 entlang der Normalen der inneren Oberfläche W1 mittels des zweiten Vibrators 110 schwingt, und das X-Achsen-schwingungselement 110X und das Y-Achsen-schwingungselement 110Y, die den zweiten Vibrator 110 bilden, werden betätigt. Genauer gesagt, wenn das X-Achsen-schwingungselement 110X in einer Richtung in Schwingung versetzt wird, die den Mittelpunkt  $O_W$  des Kreises S1 und den Messanfangspunkt P0 verbindet, wenn eine maximale Kraft des X-Achsen-schwingungselements 110X und des Y-Achsen-schwingungselements 110Y in einer Richtung, die senkrecht zur Achse des Taststifts 102 ist, als F definiert ist, und wenn die Frequenz hervorgerufen durch die zweite Schwingungsschaltung 42 als  $f_2$  definiert ist, kann die Kraft  $F_x$  in X-Achsenrichtung mittels des X-Achsen-schwingungselements 110X und die Kraft  $F_y$  in Y-Achsenrichtung mittels des Y-Achsen-schwingungselements 110Y durch die folgenden Funktionen festgelegt werden.

$$F_x = F \cdot \sin(2\pi \cdot f_2 \cdot t) \cdot \cos\theta$$

$$F_y = F \cdot \sin(2\pi \cdot f_2 \cdot t) \cdot \sin\theta$$

(t repräsentiert die Zeit)

Folglich klopft der Kontaktbereich 102A auf die innere Oberfläche W1 mit einer vorbestimmten Frequenz ( $1/f_2$ ).

(4) Während der Taststift 102 aufgrund des Vibrators 103B in der axialen Richtung schwingt und während der Kontaktbereich 102A auf die innere Oberfläche W1 klopft, wird das Abtasten der inneren Oberfläche W1 durch den



Controller 31 in Gang gesetzt.

(5) Während des Abtastvorgangs steuert der Controller 31 in geeigneter Weise den Befehlsgeschwindigkeitsvektor  $V_n$  auf der Grundlage des erfassten Amplitudenwerts  $A_n$  aus der Nachweisschaltung 5 und betätigt den Haltekörper 23, um die Berührungssignalsonde 100 entlang der inneren Oberfläche W1 zu bewegen. In Übereinstimmung mit der Bewegung wird der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  von der Nachweisschaltung 5 und die Messposition  $r_n$ , die von dem Controller erfasst wird, in dem Personal Computer als eine erfasste Amplitudenwertgruppe  $A_0 \sim A_m$  und als eine Messpositionsgruppe  $r_0 \sim r_m$  für entsprechende Messpunkte  $n = 0 \sim m$ .

(6) Wenn der Abtastvorgang abgeschlossen ist, verarbeitet der Personal Computer 6 rechnerisch die gesammelte erfasste Amplitudenwertgruppe  $A_0 \sim A_m$  und die Messpositionsgruppe  $r_0 \sim r_m$ , um die abgeschätzte Oberflächenpositionsgruppe  $R_r \sim R_m$  für entsprechende abgetastete Punkte der Oberfläche W1 zu berechnen.

Als nächstes werden Einzelheiten des Abtastvorgangs und des Rechenvorgangs beschrieben.

Zunächst wird die Bewegung der Berührungssignalsonde 100 (Profilierungsbewegung) während des Abgangsvorgangs beschrieben.

In Fig. 4 bewegt sich die Position der Berührungssignalsonde 100 der Reihe nach von  $r_{n-1}$  bis  $r_n$ ,  $r_{n+1}$  und  $r_{n+2}$ . Jeweilige Positionen  $r_{n-1}$ ,  $r_n$ ,  $r_{n+1}$  und  $r_{n+2}$  werden als Ortsvektoren  $r_n = (X_n, Y_n)$  von dem Ursprung (0,0) des Koordinatensystems dargestellt. Sich von jeweiligen Punkten in jeweils gegenläufigen Richtungen erstreckende Pfeile kennzeichnen eine Schwingung der Klopfbewegung. In der obigen Anordnung wird ein Bewegungsrichtungsvektor wie folgt festgelegt, wenn ein Punkt  $r_n$  sich zum nächsten Punkt  $r_{n+1}$  auf der Grundlage, an welchem der Controller 31 nachfolgend den Befehlsgeschwindigkeitsvektor festlegt, bewegt.

Die erfasste Amplitude der erhaltenen Schwingung durch das Detektionssignal aus der Nachweisschaltung 5 am  $n$ te Messpunkt wird als  $A_n$  definiert, und die erfasste Position der Berührungssignalsonde 100 zu diesem Zeitpunkt wird als die Messposition  $r_n = (X_n, Y_n)$  definiert. In gleicher Weise wird die erfasste Amplitude der erhaltenen Schwingung durch das Detektionssignal aus der Nachweisschaltung 5 am  $n+1$ te Messpunkt als  $A_{n+1}$  definiert und die erfasste Position der Berührungssignalsonde zu diesem Zeitpunkt wird als Messposition  $r_{n+1} = (X_{n+1}, Y_{n+1})$  definiert.

Folglich ist der Bewegungsrichtungsvektor vom Punkt  $r_n$  zum  $r_{n+1}$   $V_{n+1} = (X_{n+1} - X_n, Y_{n+1} - Y_n) = (V_{xn+1}, V_{yn+1})$ . Am vorhergehenden Messpunkt ist der Bewegungsrichtungsvektor  $V_n = (X_n - X_{n-1}, Y_n - Y_{n-1}) = (V_{xn}, V_{yn})$ . Wenn daher die Größe des Bewegungsrichtungsvektors gleich gemacht wird, ergibt sich die folgende Gleichung.

$$R^2 = V_{xn}^2 + V_{yn}^2 = V_{xn+1}^2 + V_{yn+1}^2 \quad (1)$$

Unter Verwendung eines Einheitsvektors  $e_z$  in der Z-Achsenrichtung (Achsenrichtung des Taststifts 102) kann ein Vektorprodukt für jeden Bewegungsrichtungsvektor  $V_n$  und  $V_{n+1}$  wie folgt dargestellt werden:

$$V_n \times V_{n+1} = \left( \sqrt{V_{xn}^2 + V_{yn}^2} \sqrt{V_{xn+1}^2 + V_{yn+1}^2} \sin \theta \right) e_z \quad (2)$$

$$V_n \times V_{n+1} = (V_{xn}, V_{yn}) \times (V_{xn+1}, V_{yn+1}) = (V_{xn} V_{yn+1} - V_{xn+1} V_{yn}) e_z \quad (3)$$

Da die Änderung in der Richtung  $\theta$  verringert wird, wenn das Intervall der Abtastzeit verkürzt wird, kann oben die Beziehung  $\sin \theta \approx \theta$  eingeführt werden, wodurch die folgende Gleichung durch Modifizierung der Gleichung (2) und der Gleichung (3) erhalten werden kann.

$$\sqrt{V_{xn}^2 + V_{yn}^2} \sqrt{V_{xn+1}^2 + V_{yn+1}^2} \theta = V_{xn} V_{yn+1} - V_{xn+1} V_{yn} \equiv P_n \quad (4)$$

Die Berührungssignalsonde 100 muss so bewegt werden, dass die Berührungssignalsonde einen vorbestimmten Kontaktzustand aufrecht erhält, unabhängig von ihrer Position während des Abtastens der inneren Oberfläche W1, in anderen Worten, so dass der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  den Referenzwert  $A_s$  durch Berührung beibehält.

Insbesondere wie in Fig. 5 gezeigt ist, wenn entsprechende erfasste Amplitudenwerte  $A_{n-1} \sim A_{n+2}$  und der Referenzwert  $A_s$  eine Differenz  $(A_{n-1} - A_s \sim A_{n+2} - A_s)$  an jeweiligen Punkten  $r_{n-1} \sim r_{n+2}$  zeigen, muss die Berührungssignalsonde so gesteuert werden, um die Differenz zu Null zu machen.

Da  $P_n$  aus Gleichung (4) von  $A_n$  abhängt, kann  $P_n$  unter Verwendung eines Proportionalitätsfaktors  $k$  im Bereich um 0 = 0 wie folgt dargestellt werden:

$$P_n = k(A_n - A_s) \quad (5)$$

Folglich können die Komponenten des Bewegungsrichtungsvektors  $V_{xn+1}$  und  $V_{yn+1}$  wie folgt erhalten werden:

$$\begin{aligned}
 R^2 &= v_{xn+1}^2 + \left( \frac{v_{xn+1} v_{yn} + P_n}{v_{xn}} \right)^2 \\
 v_{xn+1}^2 + 2P_n \frac{v_{yn}}{R^2} v_{xn+1} + \left( v_{xn}^2 - \frac{P_n^2}{R^2} \right) &= 0 \\
 v_{xn+1} &= -\frac{P_n}{R^2} v_{yn} \pm v_{xn} \sqrt{1 - \left( \frac{P_n}{R^2} \right)^2}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 R^2 &= v_{yn+1}^2 + \left( \frac{v_{yn+1} v_{xn} + P_n}{v_{yn}} \right)^2 \\
 v_{yn+1}^2 + 2P_n \frac{v_{xn}}{R^2} v_{yn+1} + \left( v_{yn}^2 - \frac{P_n^2}{R^2} \right) &= 0 \\
 v_{yn+1} &= -\frac{P_n}{R^2} v_{xn} \pm v_{yn} \sqrt{1 - \left( \frac{P_n}{R^2} \right)^2}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Nach Umordnung dieser Gleichungen (6) und (7) kann die folgende Gleichung erhalten werden:

$$\begin{aligned}
 v_{xn+1} &= -Q_n v_{yn} \pm v_{xn} \sqrt{1 - Q_n^2} \\
 v_{yn+1} &= -Q_n v_{xn} \pm v_{yn} \sqrt{1 - Q_n^2} \\
 \left( Q_n \cong \frac{P_n}{R^2} = \frac{k(A_n - A_s)}{R^2} \right)
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Folglich kann die Bewegung vom  $n_{\text{ten}}$  Punkt (Ortsvektor  $V_n$ ) zum  $n+1_{\text{ten}}$  Punkt (Ortsvektor  $V_{n+1}$ ) unter Verwendung des erfassten Amplitudenwerts  $A_n$  bestimmt werden.

Da der obige Vorgang für gewöhnlich durch digitale Berechnung ausgeführt wird, kann ein diskreter Fehler erzeugt werden, der den Wert  $R$  beeinflusst und der durch Korrektur des Werts  $R$  mit nötigenfalls einen vorbestimmten Wert aufgelöst werden kann.

Die Profilierungsbewegung der Berührungssignalsonde 100 wird in der oben erwähnten Weise gesteuert. Dabei wird der Haltekörper 23 gemäß dem Befehlsgeschwindigkeitsvektor von dem Controller 31 auf der Grundlage des Bewegungsrichtungsvektors  $V_{n+1}$  bewegt.

Da ferner der Bewegungsrichtungsvektor  $V_{n+1}$  entlang der inneren Oberfläche W1 läuft, kann die innere Oberfläche W1 in einer Normalen-Richtung durch Korrektur der Schwingungsrichtung der Klopfbewegung abgeklopft werden, um auf eine Richtung senkrecht zum Bewegungsgeschwindigkeitsvektor  $V_{n+1}$  gelenkt zu werden.

Folglich kann das Profil des Werkstückes selbst dann abgetastet werden, wenn die Gestaltung des Werkstückes nicht bekannt ist, wobei die Messoberfläche zuverlässig in einer Normalen-Richtung abgeklopft werden kann.

Im Folgenden wird als nächstes die Berechnung der abgeschätzten Oberflächenposition  $R_n$  ( $R_0 \sim R_m$ ) der inneren Oberfläche W1 aus dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$  beschrieben, der an jeweiligen Messpunkten und Messpositionen  $r_n$  (gesammelte erfasste Amplitudenwertgruppe  $A_0 \sim A_m$  und der Messpositionsgruppe  $r_0 \sim r_m$ ) während des oben beschriebenen Abtastprozesses abgetastet wurde.



In Fig. 6 hat das Ausgangssignal der Berührungssignalsonde 100 die folgenden Eigenschaften.

Wenn der Taststift 102 der Berührungssignalsonde 100 nicht die innere Oberfläche W1 berührt [A], bezeichnet die Messposition  $r_n$  der Berührungssignalsonde 100 die Achse des Taststifts 102, die mit dem Mittelpunkt des Kontaktbereichs 102A an der Endspitze des Taststifts 102 übereinstimmt.

Wenn der Kontaktbereich 102A die innere Oberfläche W1 berührt [B], wird geringfügig eine Kontaktkraft  $F_1$  als eine Reaktionskraft von der inneren Oberfläche W1 hervorgerufen. In dieser Lage kann die Position der inneren Oberfläche W1 mit einer Summe der Messposition  $r_n$  und des Kugelradius  $D$  (Verschiebungsbetrag von der Achse des Taststiftes) des Kontaktbereichs 102A berechnet werden.

Wenn der Taststift 102 weiterhin auf die innere Oberfläche W1 gedrückt wird, wird die Kontaktkraft  $F_1$  erhöht, um den Taststift 102 zu biegen [C]. In diesem Zustand wird der Mittelpunkt der Achse des Taststifts 102 und der Kontaktbereich 102A verschoben und der Mittelpunkt des Kontaktbereichs 102A unterscheidet sich von der Messposition  $r_n$ , die von dem Controller 31 ausgelesen wird. Der Verschiebungsbetrag ist ein Überlaufbetrag  $d_n$ , und eine genaue Messung ist unmöglich, solange der Betrag nicht zu Null oder konstant gemacht wird.

In Fig. 7 berührt während des Zustandes der obigen Fig. 6(A) der Kontaktbereich 102A die innere Oberfläche W1 nicht und der Taststift 102 schwingt mit einer Frequenz  $f_1$  unabhängig von seiner Position, und der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  des Taststifts 102, der von der Nachweisschaltung 5 erhalten wird, ist konstant bei seinem maximalen Wert  $A_0$ .

Wenn der Kontaktbereich 102A die innere Oberfläche W1 berührt, wie dies in Fig. 6(B) gezeigt ist, hört der Taststift 102 mit dem Schwingen auf und der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  wird kleiner, wenn dessen Schwingen angehalten wird. Das Abfallen der Amplitude ist unmittelbar in Übereinstimmung mit der Kontaktkraft gegen die innere Oberfläche W1, anders ausgedrückt, in Übereinstimmung mit dem Überlaufbetrag. Die proportionale Beziehung zu diesem Zeitpunkt kann durch den Empfindlichkeitsgradienten  $k_s$  dargestellt werden.

Gemäß der obigen Beziehung kann die Genauigkeit beibehalten werden, indem der Überlaufbetrag  $d_n$  konstant gemacht wird durch Steuern der Bewegung des Taststifts 102 so, dass der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  den vorbestimmten Referenzwert  $A_s$  beibehält.

Da die Bewegung des Taststifts 102 durch vorgeschriebenes Steuern geführt wird, liegt jedoch der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  strenggenommen nicht beim Referenzwert  $A_s$ . Daher ist, wie in Fig. 5 gezeigt ist, der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  geringfügig gegenüber dem Referenzwert  $A_s$  verschoben.

Folglich kann der Überlaufbetrag  $d_n$  gemäß der Abhängigkeit von der oberen beschriebenen Messposition  $r_n$ , dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$  und dem Referenzwert  $A_s$  berechnet werden, und die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  der inneren Oberfläche W1 kann durch Addieren des Kugelradius  $D$  des Kontaktbereichs 102A berechnet werden.

Die Abhängigkeit zwischen dem Skalar  $|d_n|$  des Überlaufbetrags und dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$  kann mit Bezug zu dem Empfindlichkeitsgradienten  $k_s$  und dem maximalen Amplitudenwert  $A_0$  wie folgt erhalten werden:

$$A_n = k_s |d_n| + A_0 \quad (9)$$

Folglich kann das Skalar des Überlaufbetrags  $|d_n|$  wie folgt dargestellt werden:

$$|d_n| = \frac{A_n - A_0}{k_s} \quad (10)$$

Ferner kann der Skalar  $|R_n|$  der abgeschätzten Oberflächenposition wie folgt ermittelt werden, wenn der Kugelradius  $D$  des Kontaktbereichs 102A betrachtet wird:

$$|R_n| = |r_n| + |d_n| + D = |r_n| + \frac{A_n - A_0}{k_s} + D \quad (11)$$

Jede Kontaktposition an der Messoberfläche kann durch Ausführen der obigen Berechnung für jeden Messpunkt bestimmt werden.

Obwohl von der Berührungssignalsonde 100 angenommen wird, dass sie einen konstanten Empfindlichkeitsgradienten  $k_2$  in Übereinstimmung mit der Verschiebung aufweist, braucht der Empfindlichkeitsgradient tatsächlich nicht konstant zu sein. Daher ist eine weitere Verbesserung bezüglich der Genauigkeit möglich, indem eine charakteristische Darstellung oder eine charakteristische Tabelle verwendet wird, die Konformität zur tatsächlichen Bedingung herstellt.

Anschließend zu dem oben beschriebenen Prozess zum Bestimmen des Skalars  $|R_n|$  der abgeschätzten Oberflächenposition wird im Folgenden, das Bestimmen der tatsächlichen abgeschätzten Oberflächenposition  $R_n$  unter Berücksichtigung der Richtung beschrieben.

Die Gruppe der erfassten Amplitudenwerte  $A_0 \sim A_m$  und der entsprechenden Messpunktgruppe  $r_0(X_0, Y_0) \sim r_m(X_m, Y_m)$  werden nach Abschluss des Abtastvorgangs, der in Fig. 4 gezeigt ist, im Personal Computer gesammelt. Abgeschätzte Oberflächenpositionen  $R_0 \sim R_m$  der inneren Oberfläche W1 können durch die gesammelten Daten wie folgt erhalten werden.

Zunächst wird zum Erhalten der abgeschätzten Oberflächenposition  $R_n$  die vorhergehende und nachfolgende Messposition  $r_{n-1}$  und  $r_{n+1}$  relativ zur Messposition  $r_n$  verwendet, um zu bestimmen: einen Ortsvektor  $R'_n$ , wenn die Kontaktkraft 0 ist; und eine Richtung zum Umwandeln des Ortsvektors  $R'_n$  in einen regulären Ortsvektor  $R_n$ .

Wie in Fig. 8 gezeigt ist, wenn ein Hilfsvektor  $h'_n$  als  $h'_n = r_{n+1} - r_{n-1}$  angenommen wird, kann ein weiterer Vektor  $h_n = \pm(Y_{n+1} - Y_{n-1}, -(X_{n+1} - X_{n-1}))$  senkrecht zu  $h'_n$  festgelegt werden. Da der Hilfsvektor  $h'_n$  näherungsweise parallel zur Tangente der entsprechenden Position auf der Messoberfläche ist, ist der senkrechte Vektor  $h_n$  näherungsweise orthogonal zu der entsprechenden Position auf der Messoberfläche. Unter den Richtungen kann eine Richtung ausgewählt wer-

den, indem die Richtung zum Korrigieren des Ortsvektors  $R'_n$  in der gleichen Weise berücksichtigt wird, wie zum Entscheiden des Steuerns entsprechend der erfassten Amplitude während der Profilmessung. Die Auswahl ist nicht auf das obige beschränkt. Da beispielsweise im Voraus bekannt ist, auf welche Seite der Fortschreitungsrichtung die Messoberfläche liegt, kann darauf basierend eine der Seiten gewählt werden.

5 Der Einheitsvektor  $i_n$  in einer Richtung, in der korrigiert werden soll, wird durch den gewählten Vektor berechnet.

$$i_n = \frac{h_n}{|h_n|} \quad (12)$$

10  $R'_n$  kann aus  $r_n$  berechnet werden, indem die Richtung der obigen Gleichung (12) in der oben beschriebenen Gleichung (11) zugeordnet wird.

$$15 \quad R'_n = r_n - d_n i_n \quad (13)$$

Bei Betrachtung des Kugelradius  $D$  des Kontaktbereichs 102A als ein Verschiebungsbetrag, kann ferner die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  wie folgt ermittelt werden:

$$20 \quad R_n = R'_n + D i_n = r_n - (d_n - D) i_n = r_n - \left( \frac{A_n - A_0}{k_s} - D \right) i_n \quad (14)$$

25 Die abgeschätzte Gestalt der Messoberfläche (innere Oberfläche W1) kann durch den so gemessenen Satz an  $R_n(R_0 \sim R_m)$  erhalten werden. Da der Wert des vorhergehenden und nachfolgenden Messpunktes verwendet wird, kann ferner eine gemessene Oberflächenposition ( $R_0, R_n$ ) für Randpunkte ( $0, m$ ) nicht erhalten werden. In diesem Falle kann jedoch der wirksame Bereich erweitert werden, indem die Endpositionen etc. vergrößert werden.

30 Gemäß der oben beschriebenen ersten Ausführungsform werden der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  und die Messposition  $r_n$  jeweiliger Punkte durch Abtasten der Oberfläche erhalten, auf Grundlage deren die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  berechnet werden kann.

Obwohl dabei der Abstand zwischen dem Taststift und der Oberfläche so gesteuert wird, dass der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  den Referenzwert  $A_s$  erreicht, kommt der Taststift an entsprechenden Punkten nicht zur Ruhe, bis der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  gegen den Referenzwert  $A_s$  konvergiert, wodurch eine herkömmliche Konvergenzzeit nicht notwendig ist.

35 Andererseits kann die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  abgeleitet werden, indem die Messposition  $r_n$  mit dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$  korrigiert wird, so dass ein genauer Wert erhalten werden kann, wenn der Taststift eine Position erreicht, in der der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  gleich dem Referenzwert  $A_s$  ist.

40 Da der Befehlsgeschwindigkeitsvektor  $V_{n+1}$  durch Gleichsetzen des Skalars des Vektorprodukts des vorhergehenden Wert  $V_n$  und des aktuellen Werts  $V_{n+1}$  und der Differenz zwischen dem erfassten Amplitudenwert  $A_1$  und dem Referenzwert  $A_s$  multipliziert mit dem Proportionalitätsfaktor  $k$  bestimmt wird, kann während des Abtastvorgangs der Taststift leicht und geeignet gesteuert werden, um sich so zu bewegen, dass der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  sich dem Referenzwert  $A_s$  annähert.

45 Da die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  definiert ist, nach Festlegen der vorhergehenden Messposition  $r_{n+1}$  relativ zur Messposition  $r_n$ , durch Festlegen einer Position ausgehend von der Messposition  $r_n$  mit einer Größe, die dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$  entspricht und orthogonal korrigiert ist mit einer geraden Linie, die die vorhergehende Messposition  $r_{n+1}$  und die vorhergehende Messposition  $r_{n-1}$  verbindet, kann während der Berechnung die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  einfach durch Rechnung und mit hoher Genauigkeit erhalten werden.

50 Da die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  ermittelt wird, indem der Verschiebungsbetrag  $D$  des Kontaktbereichs 102A des Taststifts 102 relativ zu der Taststiftachse zu einer der dem erfassten Amplitudenwert  $A_n$  entsprechenden Position addiert wird, kann während der Berechnung die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  genau gemessen werden.

Der Abtastvorgang der zu messenden Oberfläche wird anfänglich abgeschlossen und all die notwendigen erfassten Amplitudenwerte  $A_n$  und die entsprechenden Messpositionen  $r_n$  werden der Reihe nach gespeichert. Anschließend wird die Gruppe der abgeschätzten Oberflächenpositionen  $R_0 \sim R_m$  durch die gespeicherte Gruppe der detektierten Werte  $A_0 \sim A_m$  und die Gruppe der entsprechenden Messwerte  $r_0 \sim r_m$  mittels der obigen Berechnung erhalten. Daher kann der Abtastvorgang zum Detektieren der Gruppe der erfassten Werte  $A_0 \sim A_m$  und der Gruppe der Messpositionen  $r_0 \sim r_m$  unabhängig und nacheinander ausgeführt werden, so dass das Steuern davon im Vergleich zum parallelen Ausführen beider Vorgänge vereinfacht werden kann. Da ferner keine Notwendigkeit zum Berücksichtigen des zeitlichen Ablaufs beider Prozesse besteht, können die jeweiligen Vorgänge auf die schnellstmögliche Art eingestellt werden.

60 Da der Taststift 102 mit einer Frequenz  $f_2$  senkrecht zur Taststiftachse zum Ausführen der Klopfmethode in Schwingung versetzt ist, und während des Abtastvorgangs, da der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  des von der Nachweisschaltung 5 ausgegebenen Detektionssignals zwischengespeichert ist, wenn die Klopferschwingung  $f_2$  in einer bestimmten Phase ist und der zwischengespeicherte erfasste Amplitudenwert  $A_n$  mit dem Referenzwert  $A_s$  verglichen wird, um den Taststift 102 zu steuern, kann ferner in der vorliegenden Ausführungsform eine genaue Steuerung durchgeführt werden.

65 Da die Richtung der Klopferschwingung  $f_2$  des Taststifts 102 näherungsweise orthogonal zur Achse des Taststifts 102 und der Bewegungsrichtung des Haltekörpers 23 (Richtung zur Messoberfläche hin, Profilierungsrichtung) während des Abtastvorgangs ist, kann ein geeignetes Klopfen ausgeführt werden, da die Schwingung dabei linear ist.

Als nächstes wird eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben.

Die vorliegende Ausführungsform ist in der Anordnung des Geräts und der Abtastschritte identisch zu der oben beschriebenen ersten Ausführungsform und unterscheidet sich im Berechnungsvorgang der abgeschätzten Oberflächenposition  $R_n$  als dem letzten Schritt des Betriebsablaufs. Folglich wird lediglich der unterschiedliche Berechnungsschritt der abgeschätzten Oberflächenposition  $R_n$  im Folgenden beschrieben und die Beschreibung der anderen gemeinsamen Teile wird weggelassen.

Fig. 9 zeigt Berechnungsschritte der abgeschätzten Oberflächenposition  $R_n$  gemäß der vorliegenden Ausführungsform. Obwohl der Hilfsvektor  $h'_n$  als  $h'_n = r_{n+1} - r_{n-1}$  in der obigen ersten Ausführungsform festgelegt ist, wird der Hilfsvektor  $h'_n$  als  $h'_n = r_n - r_{n-1}$  in der vorliegenden Ausführungsform festgelegt. Die anschließende Berechnung kann die gleiche sein wie in der ersten Ausführungsform.

Da die nachfolgende Messposition  $r_{n+1}$  wie in der ersten Ausführungsform nicht erforderlich ist, können gemäß der zweiten Ausführungsform die Detektionsdaten unmittelbar rechnerisch verarbeitet werden.

Wenn insbesondere die Detektionsdaten (der erfasste Amplitudenwert  $A_n$  und die Messposition  $r_n$ ) aller Messpunkte im Voraus gespeichert sind und die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  anschließend kollektiv erstellt wird wie in der ersten Ausführungsform, kann die nachfolgende Messposition  $r_{n+1}$  leicht erhalten werden. Wenn jedoch die Detektionsdaten nicht gespeichert sind und die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  wird bei jeder Messung an dem jeweiligen Messpunkt berechnet, kann die nachfolgende Messposition  $r_{n+1}$  nicht vor dem Hinbewegen zu dem nächsten Messpunkt erhalten werden.

Durch Anwenden des Ausführungsverfahrens gemäß der vorliegenden Ausführungsform kann der Prozessablauf jedoch sicher ausgeführt werden, selbst wenn die Detektionsdaten nicht gespeichert sind.

Als nächstes wird im Folgenden die dritte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben.

Die vorliegende Ausführungsform ist in der Anordnung des Geräts und der Abtastschritte identisch zu der oben beschriebenen Ausführungsform und unterscheidet sich im Berechnungsvorgang der abgeschätzten Oberflächenposition  $R_n$  als der letzte Schritt des Ablaufs. Folglich wird lediglich der unterschiedliche Berechnungsschritt für die abgeschätzte Oberflächenposition  $R_n$  im Folgenden beschrieben, wobei die Beschreibung der gemeinsamen Teile weggelassen wird.

Fig. 9 zeigt die Berechnungsschritte der abgeschätzten Oberflächenposition  $R_n$  gemäß der vorliegenden Ausführungsform. Der Hilfsvektor  $h'_n$  ist als  $h'_n = r_{n+1} - r_{n-1}$  in der, obigen ersten Ausführungsform festgelegt, und der Hilfsvektor  $h'_n$  ist als  $h'_n = r_{n+1} - r_{n-1}$  in der obigen zweiten Ausführungsform festgelegt. Im Gegensatz dazu werden in der vorliegenden Ausführungsform mehrere Messpunkte benachbart zu  $r_n$  ( $r_{n-1}$ ,  $r_n$ ,  $r_{n+1}$ ,  $r_{n+2}$  etc.) ausgewählt. Es wird eine Näherungskurve  $C_n$  auf der Grundlage entsprechender Punkte festgelegt und eine Senkrechte von dem Messpunkt  $r_n$  zu dem nächsten Punkt auf der Näherungskurve wird gezeichnet. Die Senkrechte wird als ein senkrechter Vektor  $h_n$  festgelegt. Eine anschließende Berechnung kann in der gleichen Weise wie in der ersten Ausführungsform durchgeführt werden. Da der senkrechte Vektor  $h_n$  aus einer größeren Anzahl an Messpunkten ( $r_{n-1}$ ,  $r_n$ ,  $r_{n+1}$ ,  $r_{n+2}$ ) als in der ersten Ausführungsform abgeleitet werden kann, kann die Messgenauigkeit weiter verbessert werden.

Wenn insbesondere Detektionsdaten durch vorausgehendes Abtasten gespeichert werden und anschließend der arithmetische Prozess ausgeführt wird, können die Daten von mehreren Messpunkten leicht verwendet werden, so dass die Genauigkeit leicht verbessert werden kann.

Im Folgenden wird als nächstes die vierte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben.

Wie in Fig. 11 gezeigt ist, ist die Anordnung des Geräts im Wesentlichen identisch zu der in der ersten Ausführungsform mit der Ausnahme, dass der Haltekörper 23 einen Neigungsantrieb 24 zum Rotieren und Neigen der Berührungssignalsonde 100 in eine gewünschte Stellung aufweist, und die Kontrollschaltung 3 besitzt einen Neigungskontroller 33, um somit die Stellung der Berührungssignalsonde 100 gemäß der Neigung der inneren Oberfläche W1 des Werkstücks W einzustellen.

Während der tatsächlichen Messung muss die Stellung der Berührungssignalsonde 100 vor dem Abtasten der inneren Oberfläche W1 des Werkstücks W eingestellt werden und es ist eine Information über die Neigung der inneren Oberfläche W1 des Werkstücks W notwendig. Eine derartige Information kann aus der Messposition mehrerer Punkte auf der inneren Oberfläche W1 des Werkstücks W im Voraus erhalten werden, oder durch Verwendung von Gestaltungsdaten (CAD-Daten) des Werkstücks W, indem somit die grobe Beschaffenheit der inneren Oberfläche W1 erhalten wird.

Die relative Lage des Taststifts 102 und der inneren Oberfläche W1 während des Abtastens der inneren Oberfläche W1 des Werkstücks W ist die gleiche wie in der ersten Ausführungsform. Da die innere Oberfläche W1 in der vorliegenden Ausführungsform geneigt ist, werden jedoch der Z-Achsenantriebsmechanismus sowie der X-Achsenantriebsmechanismus und der Y-Achsenantriebsmechanismus des Haltekörpers 23 zum Abtasten verwendet.

Die weitere Anordnung des Geräts der vorliegenden Erfindung ist gleich zu derjenigen der ersten Ausführungsform und die Beschreibung wird daher weggelassen.

Da die relative Lage des Taststifts 102 und der inneren Oberfläche W1 die gleiche ist wie in der ersten Ausführungsform, kann der Abtastvorgang der ersten Ausführungsform und der Berechnungsvorgang der abgeschätzten Oberflächenposition  $R_n$  in der zweiten und der dritten Ausführungsform ebenfalls auf die vorliegende Ausführungsform angewendet werden.

Da der Neigungsantrieb 24 und der Neigungskontroller 33 in der vorliegenden Ausführungsform vorgesehen sind, kann der Kontaktbereich 102A immer auf die innere Oberfläche W1 in einer normalen Richtung durch vorhergehendes Erhalten der Neigung der inneren Oberfläche W1 klopfen.

Im Übrigen ist der Schutzbereich der vorliegenden Ausführungsform nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern kann Modifikationen umschließen, die im Folgenden gezeigt sind.

Obwohl das Oberflächengestalt-Messverfahren entsprechend den obigen jeweiligen Ausführungsformen zur Messung einer inneren Oberfläche eines zylindrischen Werkstücks W angewendet wird, ist das zu messende Werkstück nicht eingeschränkt. Beispielsweise kann die vorliegende Erfindung zum kontinuierlichen Messen eines äußeren Umfangs eines zylindrischen Werkstücks W oder eines Werkstücks mit anderen komplizierten dreidimensionalen Ausgestaltungen angewendet werden.

Obwohl der Vibrator und der zweite Vibrator aus piezoelektrischen Elementen 103A und 110 in den obigen Ausführungsformen vorgesehen sind, kann die vorliegende Erfindung auch ohne diese Elemente ausgeführt werden.

rungsformen aufgebaut sind, können der Vibrator und der zweite Vibrator in einer anderen Struktur aufgebaut sein. Anders ausgedrückt, es ist eine andere Anordnung möglich, solange der Vibrator und der zweite Vibrator den Taststift in der axialen Richtung und in einer Richtung orthogonal zur Achse mit einer vorbestimmten Frequenz in Schwingung versetzen können.

Obwohl das Werkstück durch Bewegen der Berührungssignalsonde in den jeweiligen Ausführungsformen gemessen wird, kann der XYZ-Tisch, auf den das Werkstück einzuspannen ist, für die Messung bewegt werden. Ferner kann der Neigungsantrieb nicht am Haltekörper vorgesehen sein, sondern der Neigungsantrieb kann in der Ebene des XYZ-Tisches auf dem das Werkstück einzuspannen ist, zur Lagesteuerung des Werkstückes vorgesehen sein.

Andere spezifische Anordnungen und Formen können beim Implementieren der vorliegenden Erfindung verwendet werden, solange die Aufgabe der vorliegenden Erfindung erfüllt werden kann.

Ferner kann eine spezielle Anordnung der Kontaktdetektionssonde insbesondere die Gestalt der Endspitze des Taststiftes geeignet gewählt werden. Wenn der Kontaktbereich 102A sphärisch ist, wie in der ersten Ausführungsform, wird dessen Radius als der Verschiebungsbetrag  $D$  festgelegt, und wenn der Kontaktbereich 102A eine andere Gestalt aufweist, kann der Verschiebungsbetrag als ein Abstand von einer Referenzachse zum Kontaktpunkt festgelegt werden.

Obwohl die Sonde eine klopfende Bewegung in den obigen jeweiligen Ausführungsformen durchführt, kann die vorliegende Erfindung auf eine Messung für lediglich eine profilierende Bewegung ohne die Klopfbewegung angewendet werden. In diesem Falle kann je nach Gestaltung der zweite Vibrator etc. der obigen jeweiligen Ausführungsformen weggelassen werden.

#### Patentansprüche

1. Oberflächengestalt-Messverfahren zum Messen einer Oberflächenbeschaffenheit eines Werkstückes (W) unter Verwendung einer Kontaktdetektionssonde (100) mit:  
 einem Haltekörper (23) zum Bewegen in einem dreidimensionalen Raum durch einen vorbestimmten Befehlsgeschwindigkeitsvektor ( $V_n$ ) auf der Grundlage eines äußeren Befehls; einem Taststift (102), der von dem Haltekörper gehalten wird und einen Kontaktbereich (102A), der mit dem Werkstück in Berührung zu bringen ist, aufweist; einem Vibrator (103A), um den Taststift mit einer ersten Frequenz ( $f_1$ ) in einer axialen Richtung in Schwingung zu versetzen; und einer Nachweisschaltung (103B) zum Erfassen einer Änderung in der Schwingung des Taststiftes durch den Vibrator, wobei die Oberflächenbeschaffenheit des Werkstückes durch eine Position des Haltekörpers gemessen wird, wenn der Kontaktbereich die Oberfläche des Werkstückes berührt,  
 wobei das Oberflächengestalt-Messverfahren gekennzeichnet ist, durch die Schritte:  
 Bewegen der Kontaktdetektionssonde durch den Befehlsgeschwindigkeitsvektor, um die Oberfläche des zu messenden Werkstückes zu berühren;  
 Abtasten der Oberfläche des zu messenden Werkstückes, wobei die Kontaktdetektionssonde entlang der zu messenden Oberfläche bewegt wird, während ein Abstand relativ zu der zu messenden Oberfläche so gesteuert wird, dass ein erfasster Amplitudenwert ( $A_n$ ) eines Detektionssignals, das von der Nachweisschaltung ausgegeben wird, einen vorbestimmten Referenzwert ( $A_s$ ) annimmt, wobei der erfasste Amplitudenwert ( $A_n$ ) und die entsprechende Messposition ( $r_n$ ) ausgegeben werden; und  
 Berechnung einer abgeschätzten Oberflächenposition ( $R_n$ ) aus einem Satz der erfassten Amplitudenwerte ( $A_0 \sim A_m$ ) und einem Satz der Messpositionen ( $r_0 \sim r_m$ ).
2. Das Oberflächengestaltmessverfahren nach Anspruch 1, wobei der Befehlsgeschwindigkeitsvektor ( $V_{n+1}$ ) während des Abtastschritts bestimmt wird durch Gleichsetzen eines Skalars des Vektorprodukts eines vorhergehenden Werts des Befehlsgeschwindigkeitsvektors ( $V_n$ ) und eines aktuellen Befehlsgeschwindigkeitsvektors ( $V_{n+1}$ ) mit einer Differenz zwischen dem erfassten Amplitudenwert ( $A_n$ ) und dem Referenzwert ( $A_s$ ) multipliziert mit einem vorbestimmten Proportionalitätsfaktor ( $k$ ).
3. Das Oberflächengestaltmessverfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die während des Berechnungsschritts berechnete abgeschätzte Oberflächenposition ( $R_n$ ) eine Position ist, die nach Festlegen einer nachfolgenden Messposition ( $r_{n+1}$ ) relativ zur Messposition ( $r_n$ ) durch Festlegen einer Position bestimmt wird, ausgehend von der Messposition ( $r_n$ ) mit einer Größe entsprechend dem erfassten Amplitudenwert ( $A_n$ ) und senkrecht korrigiert mit einer geraden Linie, die die nachfolgende Messposition ( $r_{n+1}$ ) und die vorhergehende Messposition ( $r_{n-1}$ ) verbindet.
4. Das Oberflächengestaltmessverfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die während des Berechnungsschritts berechnete abgeschätzte Oberflächenposition ( $R_n$ ) als eine Position definiert ist, die von einer Messposition ( $r_n$ ) mit einer Größe entsprechend dem erfassten Amplitudenwert ( $A_n$ ) ausgeht und orthogonal korrigiert ist mit einer geraden Linie, die die Messposition ( $r_n$ ) und die vorhergehende Messposition ( $r_{n-1}$ ) verbindet.
5. Das Oberflächengestaltmessverfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die während des Berechnungsschritts berechnete abgeschätzte Oberflächenposition ( $R_n$ ) definiert ist als eine Position, die von der Messposition ( $r_n$ ) mit einer Größe entsprechend dem erfassten Amplitudenwert ( $A_n$ ) ausgeht und korrigiert ist in einer Richtung einer Senkrechten, die zu einer Kurve gezogen ist, die zumindest durch drei Punkte der Messposition ( $r_n$ ) und der vorhergehenden und nachfolgenden Position ( $r_{n+1}$ ,  $r_{n-1}$ ) definiert ist.
6. Das Oberflächengestaltmessverfahren gemäß einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei die abgeschätzte Oberflächenposition ( $R_n$ ) bestimmt ist durch Addieren des Verschiebungsbetrags ( $D$ ) des Kontaktbereichs des Taststifts relativ zur Taststiftachse zu einer Position, die dem erfassten Amplitudenwert ( $A_n$ ) entspricht.
7. Das Oberflächengestaltmessverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Abtastschritt der zu messenden Oberfläche anfänglich abgeschlossen ist und alle notwendigen erfassten Amplitudenwerte ( $A_n$ ) und die entsprechenden Messpositionen ( $r_n$ ) der Reihe nach während des Abtastschritts gespeichert werden, und wobei ein Satz abgeschätzter Oberflächenpositionen ( $R_0 \sim R_m$ ) auf der Grundlage des gespeicherten Satzes der erfassten Werte ( $A_0 \sim A_m$ ) und des Satzes der entsprechenden Messwerte ( $r_0 \sim r_m$ ) während des obigen Berechnungsschritts erhalten wird.

8. Das Oberflächengestaltmessverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Kontaktdetektionssonde weiterhin einen zweiten Vibrator (110) aufweist, um den Taststift relativ zu einer Achse desselben mit einer zweiten Frequenz ( $f_2$ ) in Schwingung zu versetzen, und wobei der erfasste Amplitudenwert ( $A_n$ ) des von der Nachweisschaltung ausgegebenen Detektionssignals zwischengespeichert wird, wenn eine Schwingung des zweiten Vibrators in einer vorbestimmten Phase ist und der zwischengespeicherte erfasste Amplitudenwert ( $A_n$ ) wird mit dem zu steuernden Referenzwert ( $A_s$ ) verglichen. 5
9. Das Oberflächengestaltmessverfahren nach Anspruch 8, wobei der Taststift durch den zweiten Vibrator in einer Richtung ungefähr senkrecht zur Achse des Taststiftes und ungefähr senkrecht zur Bewegungsrichtung des Haltekörpers während des Abtaststifts in Schwingung versetzt wird.
10. Das Oberflächengestaltmessverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Haltekörper einen Neigungsantrieb (24) zum Rotieren und Neigen der Kontaktdetektionssonde in eine gewünschte Stellung aufweist, und die Stellung der Kontaktdetektionssonde wird in Übereinstimmung mit der Beschaffenheit des Werkstückes durch einen Neigungskontroller (33) gesteuert wird. 10
11. Das Oberflächengestaltmessverfahren nach Anspruch 10, wobei der Neigungsantrieb (24) durch den Neigungskontroller (33) so gesteuert wird, dass der Taststift durch den zweiten Vibrator in einer Normalen-Richtung der Oberfläche des Werkstückes, das mit dem Kontaktbereich in Kontakt zu bringen ist, in Schwingung versetzt wird. 15
12. Das Oberflächengestaltmessverfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei der Taststift durch den zweiten Vibrator linear zur Schwingung angeregt.

---

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

Fig. 1

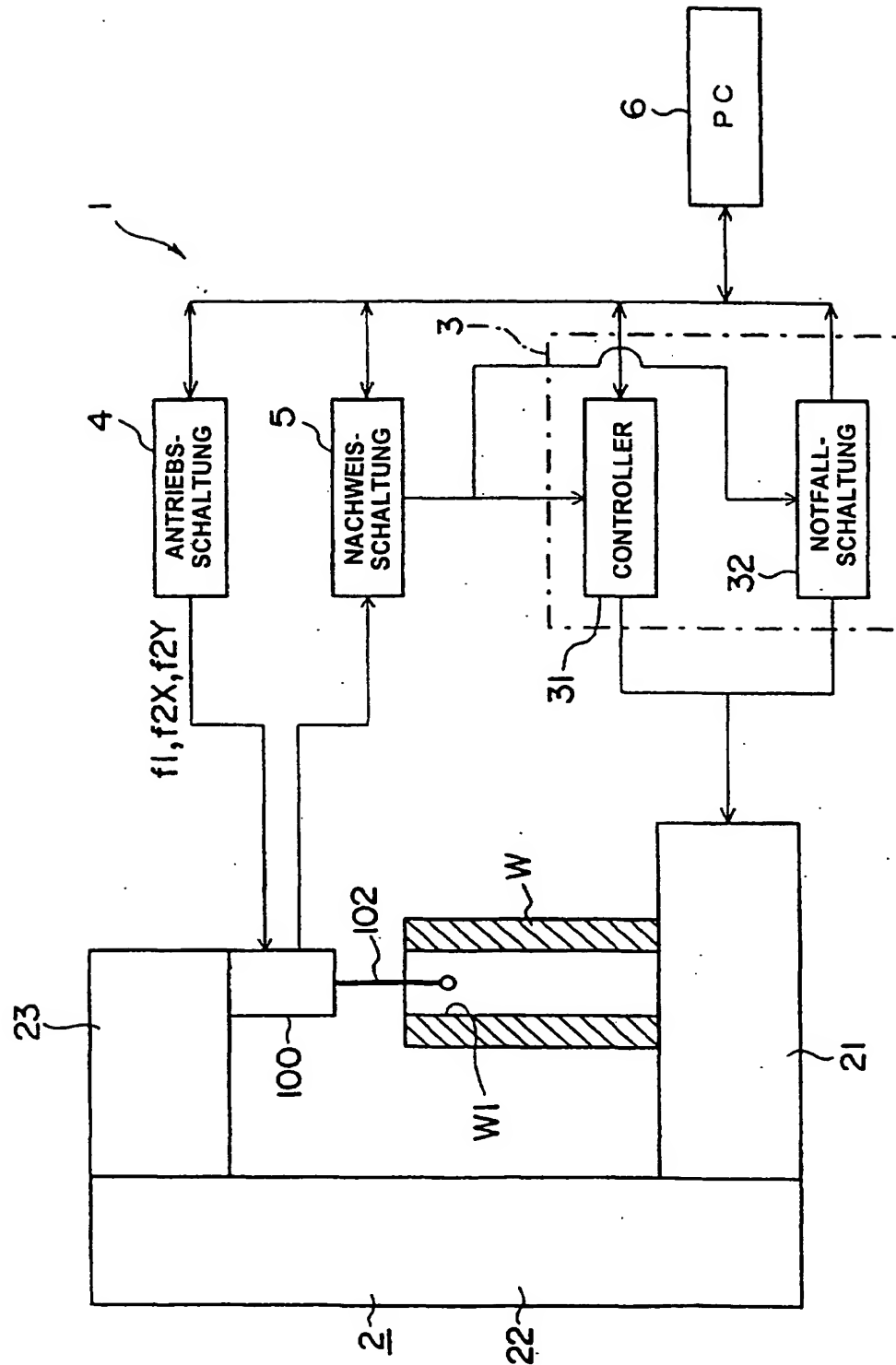




Fig. 2

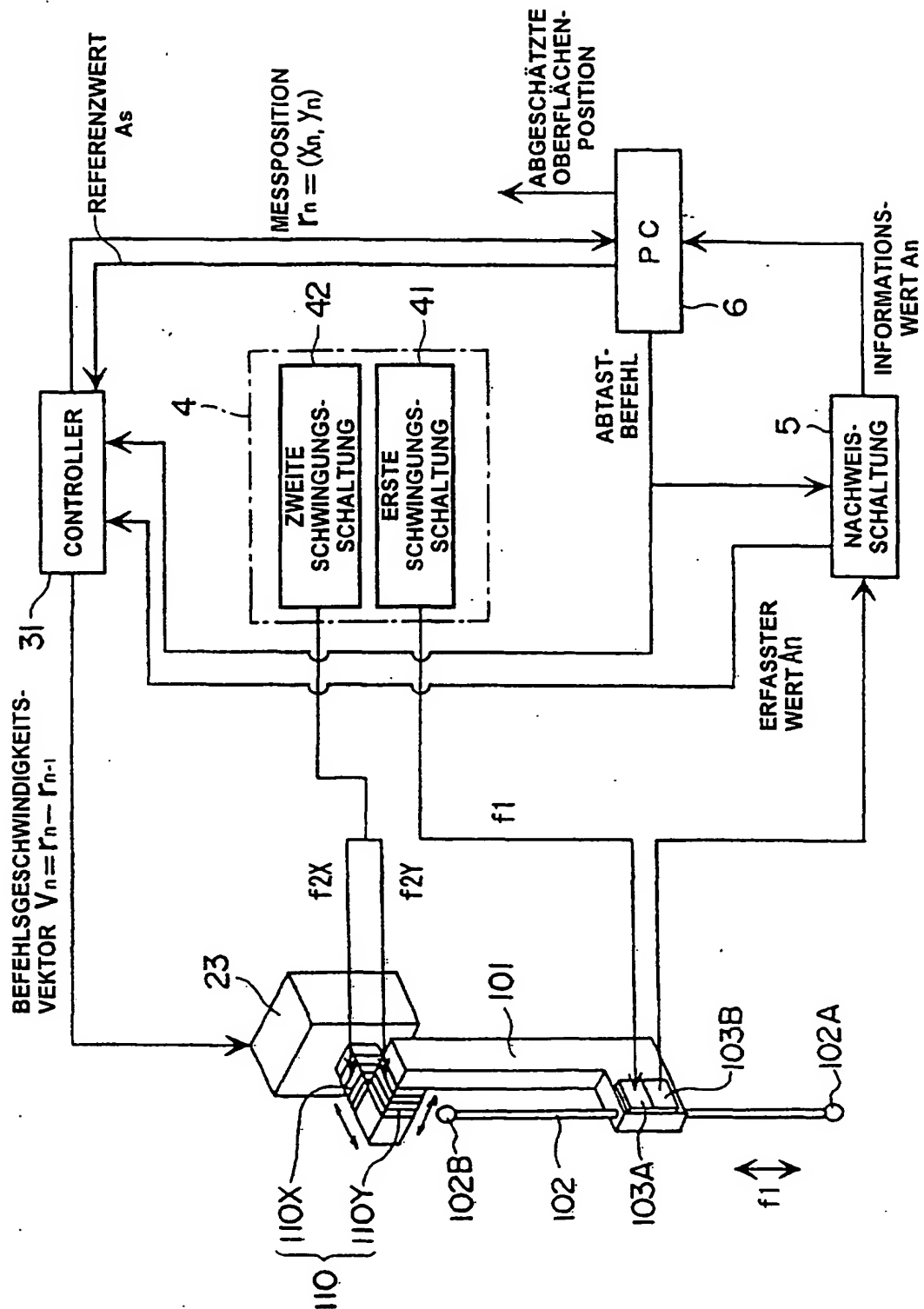


Fig. 3

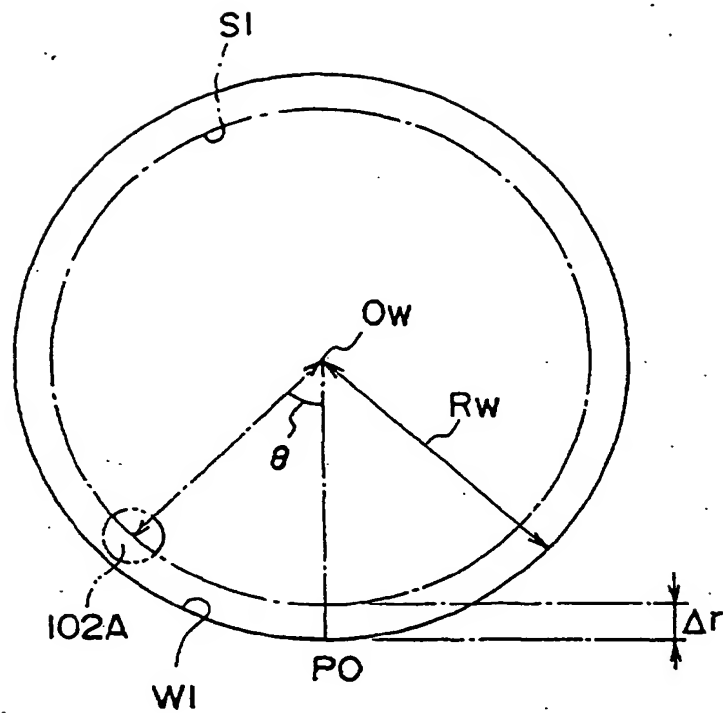


Fig. 4

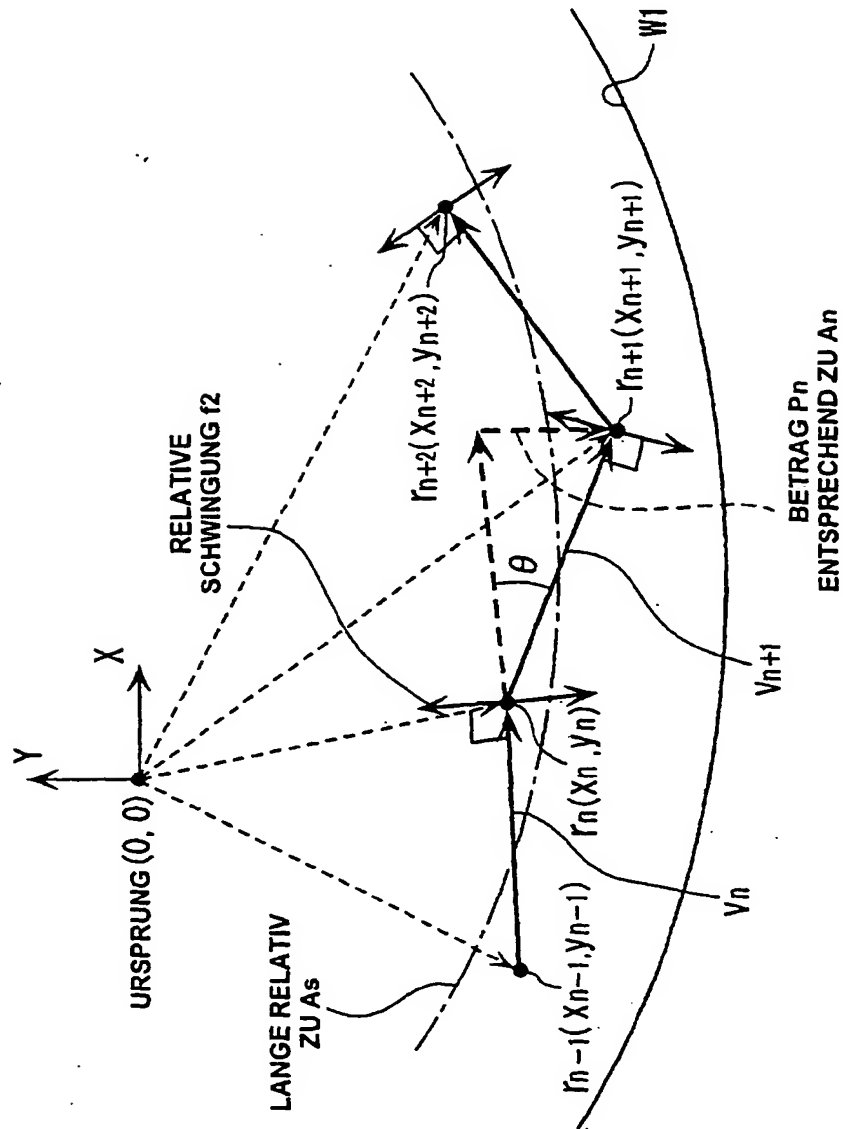


Fig. 5

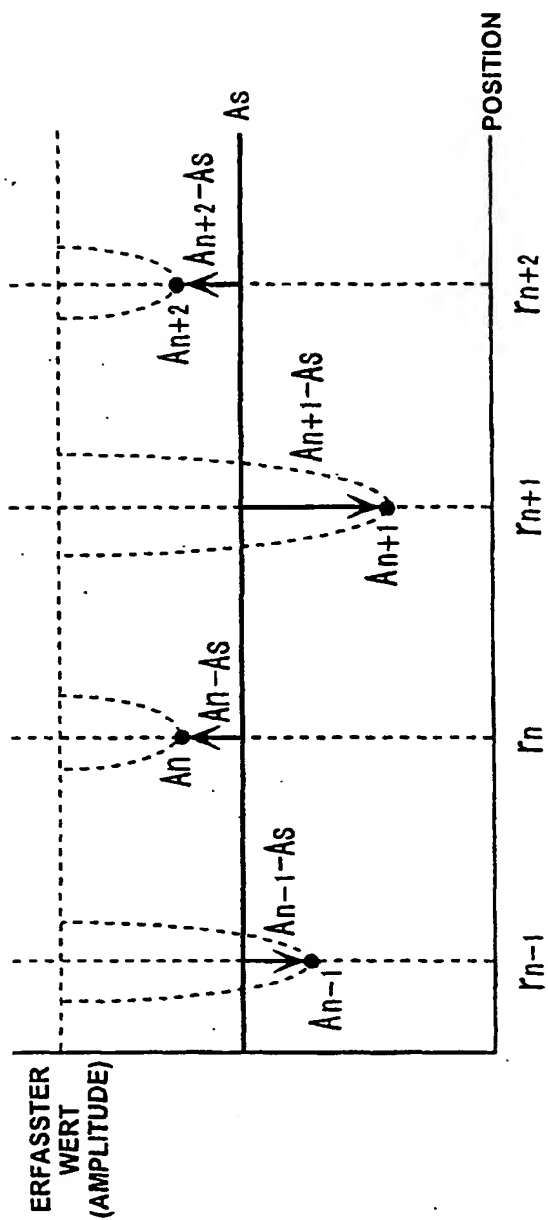


Fig. 6 (A)

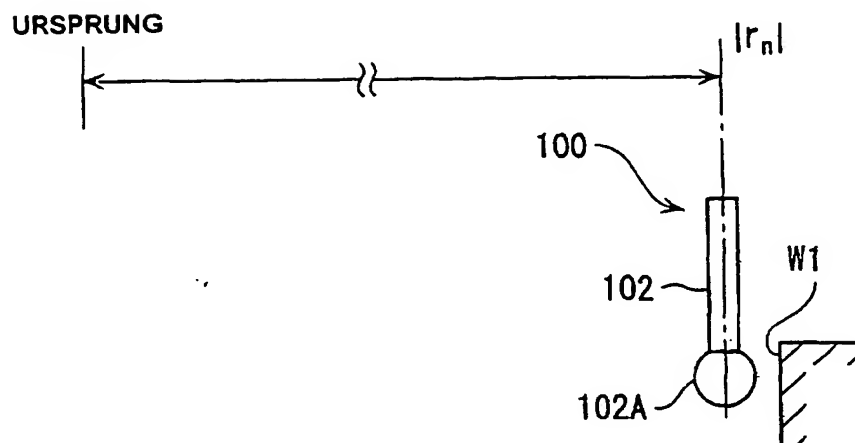


Fig. 6 (B)

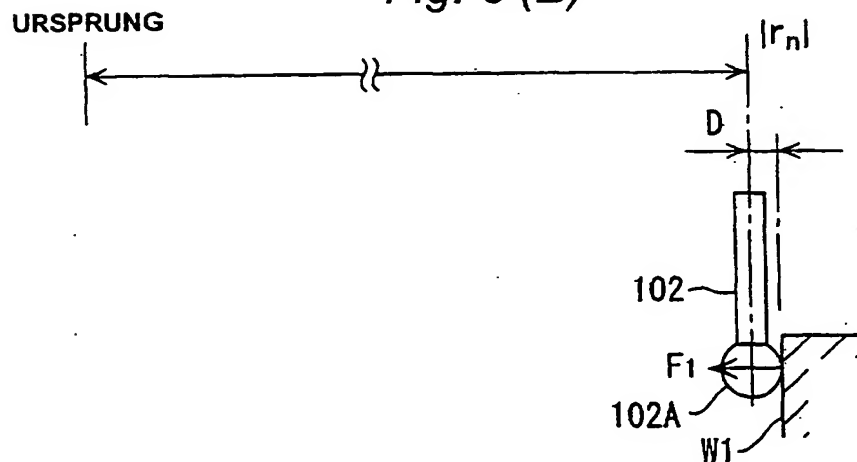


Fig. 6 (C)

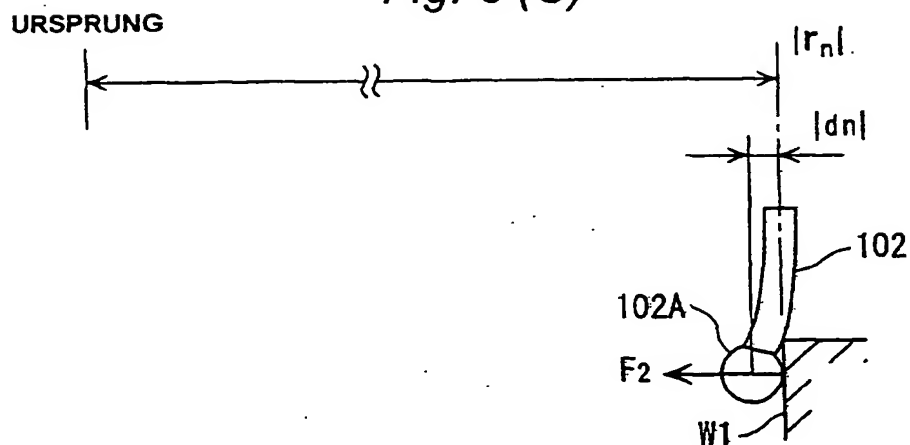


Fig. 7

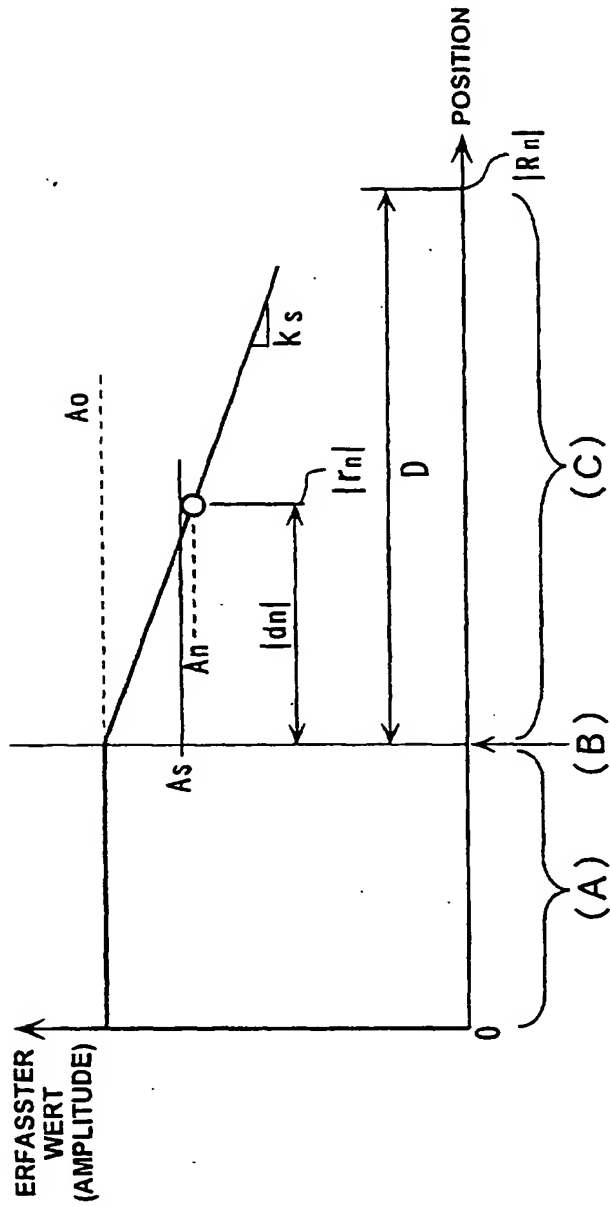


Fig. 8

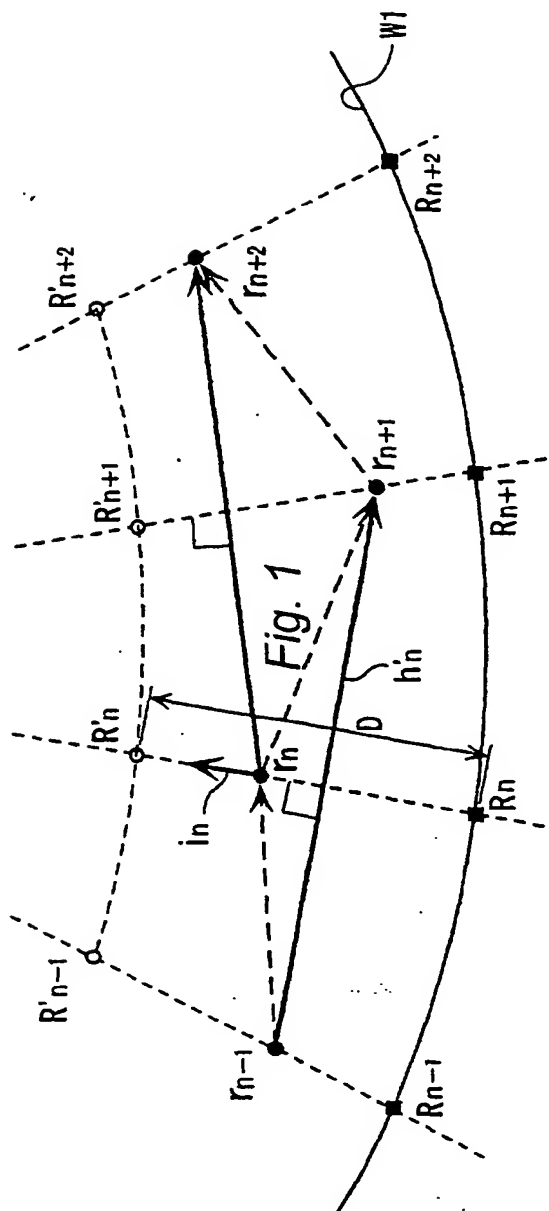




Fig. 9

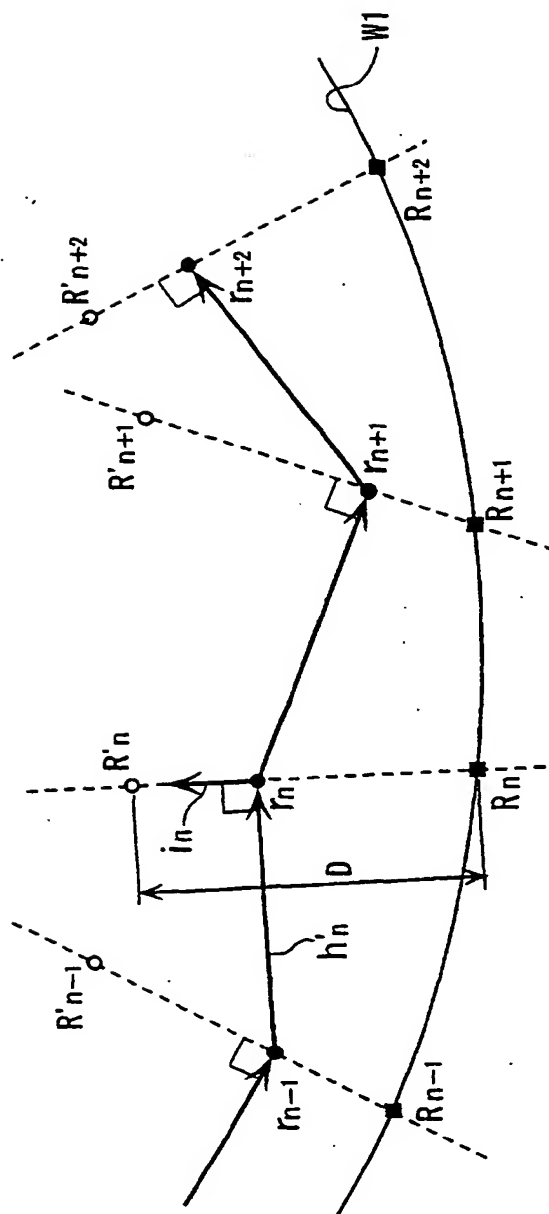


Fig. 10

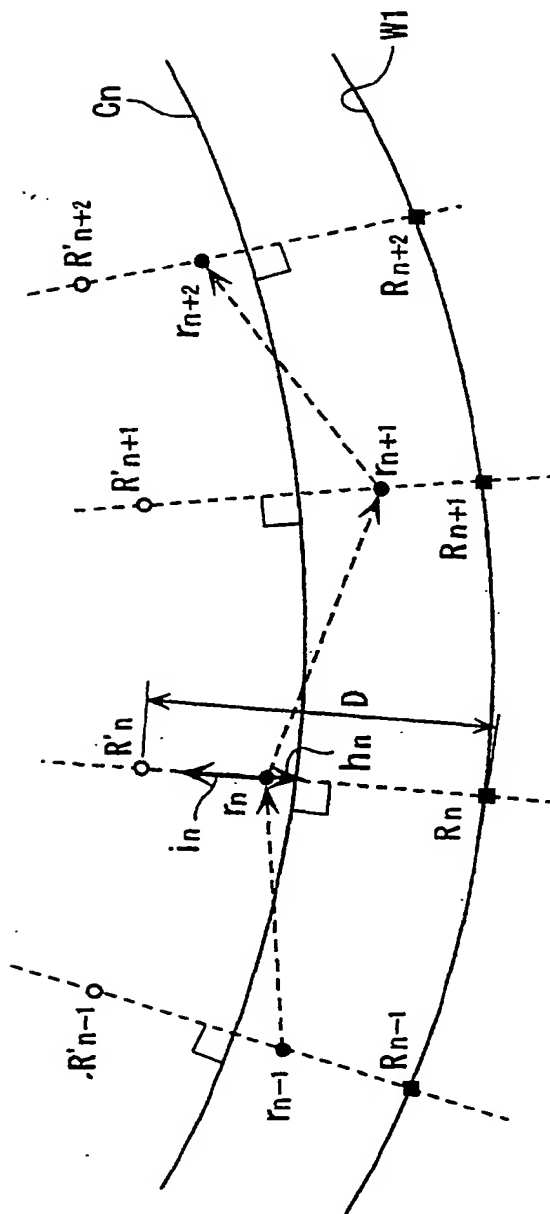
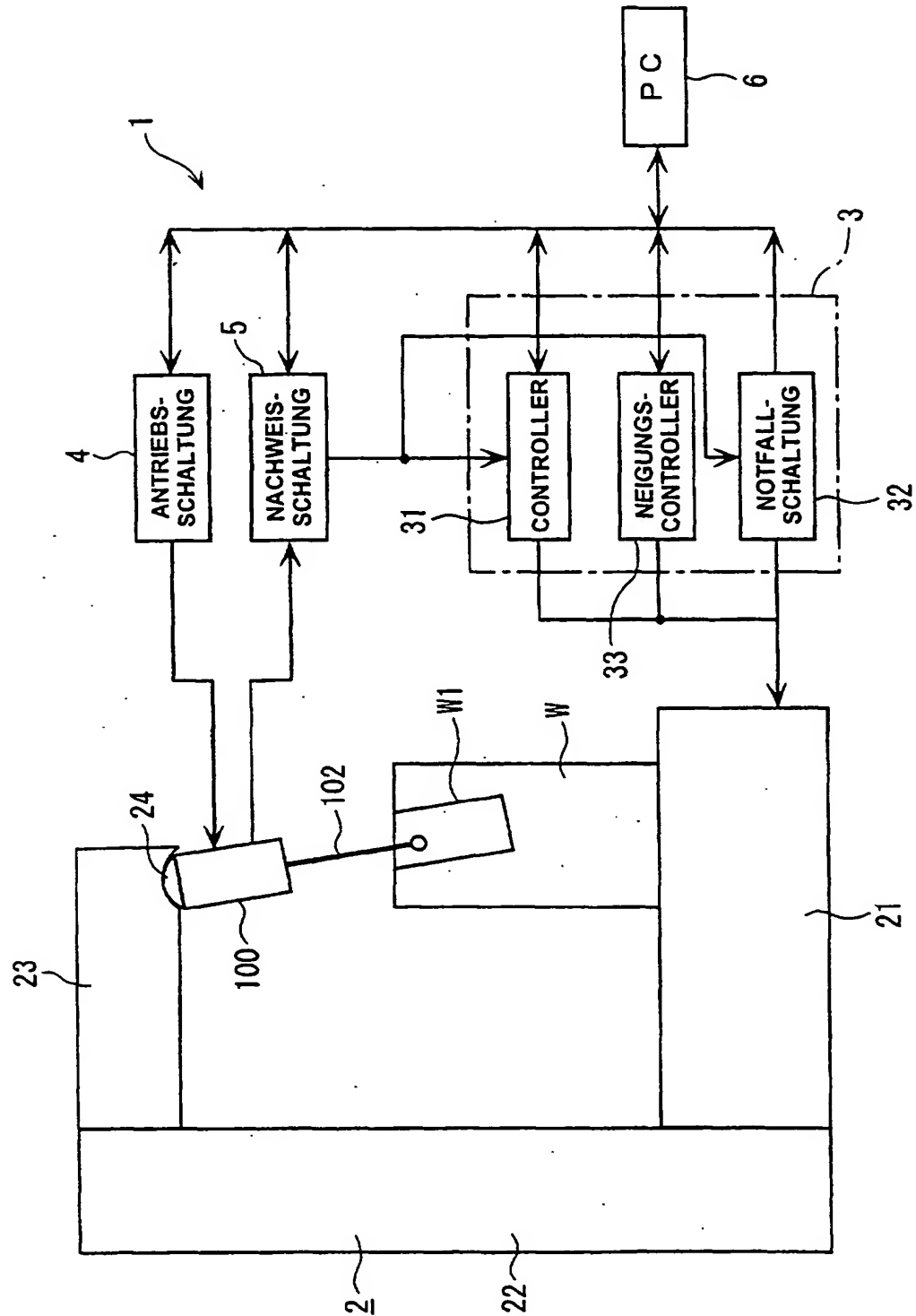


Fig. 11



*Fig. 12*  
STAND DER TECHNIK

